

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

‘Ανάλυση χωρικών δεδομένων σε καλλιέργεια βαμβακιού’

Τριμελής Εξεταστική επιτροπή

ΓΕΜΤΟΣ Θ. (επιβλέπων)	Ομότιμος Καθηγητής
ΦΟΥΝΤΑΣ Σ. (Μέλος)	Επίκουρος Καθηγητής
ΚΑΤΣΟΥΛΑΣ Ν. (Μέλος)	Αναπληρωτής Καθηγητής

Βόλος 2013

‘Ανάλυση χωρικών δεδομένων σε καλλιέργεια βαμβακιού’

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η καλλιέργεια βαμβακιού είναι μια από τις σημαντικότερες της χώρας που στηρίζει και τη βιομηχανία της κλωστοϋφαντουργίας. Με την αλλαγή της ΚΑΠ και τη μείωση των επιδοτήσεων απαιτείται να εφαρμοστούν τεχνικές που μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση του κόστους παραγωγής με την καλύτερη αξιοποίηση των φυσικών πόρων και περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Η Γεωργία Ακριβείας μπορεί να συμβάλλει προς αυτή τη κατεύθυνση. Για να διερευνηθούν οι συνθήκες που συμβάλλουν στη χρήση της γεωργίας ακριβείας, εκτιμώντας το βαθμό παραλλακτικότητας του αγρού σχεδιάστηκαν και εκτελέστηκαν μια σειρά μετρήσεις.

Οι μετρήσεις έγιναν σε ένα αγροτεμάχιο βαμβακοκαλλιέργειας στην περιοχή του πρώην δήμου Κάμπου της Τ.Κ. Μυρίνης του Νομού Καρδίτσας. Στόχος του πειράματος ήταν να καταγραφεί η παραλλακτικότητα που παρουσίαζε ο αγρός μέσω της μέτρησης του δείκτη ευρωστίας των φυτών (NDVI) και της αντίστασης σε διείδυση του εδάφους. Σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η διερεύνηση των δυνατοτήτων εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας στην καλλιέργεια βαμβακιού στη χώρα μας και η προσπάθεια να συνεχιστεί η χαρτογράφηση παραγωγής και η συλλογή των δεδομένων.

Σε πρώτη φάση έγινε μέτρηση της αντίστασης σε διείδυσης του εδάφους σε βάθος 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-25 cm, 25-30cm, 30-35 cm και 0-50 cm από την οποία προήλθαν οι χάρτες αντίστασης του εδάφους σε διείδυση. Έπειτα πραγματοποιήθηκαν τρεις μετρήσεις ευρωστίας εκτιμώντας το δείκτη βλάστησης (NDVI). Οι χάρτες δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού Surfer (Golden Software, Surfer 8.05. ,2004).

Τα αποτελέσματα από την μελέτη της παρούσας εργασίας για τους χάρτες συμπίεσης δείχνουν, ότι η συμπίεση αυξάνεται σταδιακά όσο αυξάνεται το βάθος εδάφους, (κυρίως μετά τα 35 εκατοστά) αυτό αποδεικνύει και το διάγραμμα αντίστασης.

Ακόμη είναι φανερό ότι υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στη συμπίεση του εδάφους και της παραγωγής.

Η ευρωστία των φυτών φαίνεται πως επηρεάζεται αρνητικά από την συμπίεση του εδάφους, κυρίως κατά τον μήνα Ιούλιο ενώ τέλος η ευρωστία των φυτών φαίνεται να επηρεάζει την παραγωγή.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κ. Θεοφάνη Γέμτο, Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας, ο οποίος με εμπιστεύτηκε και μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το ενδιαφέρον θέμα σχετικά με την γεωργία ακριβείας και στην συνέχεια με καθοδήγησε και μου συμπαραστάθηκε αμέριστα καθ' όλη τη διάρκεια της διατριβής. Τον ευχαριστώ με όλη μου την καρδιά για την εμπιστοσύνη και την υπομονή που έδειξε προς το πρόσωπο μου.

Τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωργικής Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Σπύρο Φουντά, τον ευχαριστώ θερμά για την καθοδήγηση και την άριστη συνεργασία που είχαμε καθώς και για τον χρόνο που αφιέρωσε για να έρθει εις πέρας η μεταπτυχιακή διατριβή.

Τους Δρ. Χρήστο Καβαλάρη, τον Δρ. Παναγιώτη Ντογκούλη και τον Δρ. Βασίλειο Λιάκο του Εργαστηρίου της Γεωργικής Μηχανολογίας για την ηθική συμπαράσταση και για τις συμβουλές που μου πρόσφεραν κατά την διάρκεια της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στον υποψήφιο Δρ. κ. Μαρκινό Θανάση, καθώς και παραγωγό του χωραφιού όπου διενεργήθηκε το πείραμα για την καθοδήγηση, τις συμβουλές και τον χρόνο που αφιέρωσε για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής.

Η παρούσα διατριβή είναι αφιερωμένη στον αγαπημένο μου παππού, ο οποίος έφυγε από την ζωή πριν δύο χρόνια και ο οποίος συνέβαλε στο να εκπληρώσω τις υποχρεώσεις μου για τις μεταπτυχιακές μου σπουδές.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΤΟ ΒΑΜΒΑΚΙ	16
2.1 Περιγραφή Γεωργίας Ακριβείας	16
2.2 Τεχνολογίες Γεωργίας Ακριβείας	18
2.2.1 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών	18
2.2.2 Παγκόσμια Συστήματα Εντοπισμού Θέσης	19
2.2.3 Τεχνολογία συστημάτων Μεταβλητών Εφαρμογών	19
2.2.4 Σύστημα Χαρτογράφησης Αποδόσεων	20
2.2.5 Τηλεπισκόπηση	21
2.2.6 Μετρήσεις στο Πεδίο	21
2.2.7 Στάδια Εφαρμογής Γεωργίας Ακριβείας	22
2.3 Εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας στην καλλιέργεια βαμβακιού	25
2.3.1 Στην Ελλάδα.....	25
2.3.2 Στο Εξωτερικό	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΕΔΑΦΟΣ	42
3.1 Συμπίεση Εδάφους	42
3.2 Αίτια συμπίεσης εδάφους	43
3.3 Προβλήματα που δημιουργεί η συμπίεση του εδάφους	45
3.3.1 Προβλήματα της συμπίεσης του εδάφους στις βαμβακοκαλλιέργειες.....	46
3.4 Λύσεις στα προβλήματα Συμπίεσης	47
3.5 Προβλήματα Συμπίεσης Εδαφών στην Ευρώπη	49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΔΕΙΚΤΗΣ NDVI.....	56
4.1 NDVI	56
4.2 Τι απεικονίζει και πως λειτουργεί	57
4.3 Μελέτες δείκτη NDVI σε βαμβακοκαλλιέργειες	60
4.4 Σχέση Συμπύεσης Εδάφους και Δείκτη NDVI	62
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΒΑΜΒΑΚΙ	 68
5.1 Εισαγωγή	68
5.2 Σημερινή Κατάσταση της βαμβακοκαλλιέργειας στον κόσμο	71
5.3 Σημερινή Κατάσταση της βαμβακοκαλλιέργειας στην Ελλάδα και την Κεντρική Ελλάδα	78
5.3.1 Βαμβακοκαλλιέργεια στην Ελλάδα	78
5.3.2 Καλλιέργεια Βαμβακιού στην Κεντρική Ελλάδα	82
5.4 Βοτανικά χαρακτηριστικά	85
5.5 Εδαφοκλιματικές απαιτήσεις	86
5.5.1 Κλιματικές Απαιτήσεις	86
5.5.2 Εδαφικές Απαιτήσεις	87
5.6 Στάδια ανάπτυξης του βαμβακόφυτου	88
5.7 Τεχνική της καλλιέργειας	89
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	 93
6.1 Στόχοι παρούσας εργασίας	93
6.2 Περιγραφή πειράματος	94
6.3 Μετρήσεις	95
6.3.1 Μετρήσεις NDVI	95
6.3.2 Αντίσταση στη διείδυση	97
6.4 Μέτρηση Παραγωγής	99
6.5 Εδαφοκλιματικές συνθήκες	102

6.6 Διαδικασία πειράματος	103
6.7 Περιγραφή μετρήσεων	104
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	106
7.1 Χαρτογράφηση της συμπίεσης του εδάφους	106
7.2 Διάγραμμα αντίστασης	109
7.3 Χαρτογράφηση της ευρωστίας φυτών	110
7.4 Χαρτογράφηση της παραγωγής	115
7.5 Συσχετίσεις χωρικών δεδομένων	116
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ	118
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	120

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξέλιξη των κλάδων της ηλεκτρονικής και των υπολογιστών, που συμβαίνει τα τελευταία χρόνια δε θα μπορούσε να μην επηρεάσει και τους παραδοσιακούς τομείς της οικονομίας όπως αυτόν της γεωργίας. Μια νέα τεχνική που φαίνεται να κερδίζει συνεχώς έδαφος είναι η Γεωργία Ακριβείας που χρησιμοποιεί νέες τεχνολογίες πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών για να διαφοροποιήσει τη διαχείριση των αγροτεμαχίων στα διάφορα σημεία τους. Πρόκειται για μια τεχνική η οποία στην ουσία δεν είναι καινούργια. Αποτελεί παλιά τεχνική, την οποία χρησιμοποιούσαν οι γεωργοί, λόγω της μεταβλητότητας των εδαφικών παραμέτρων, χρησιμοποιούσαν διαφορετικές γεωργικές πρακτικές σε διαφορετικές περιοχές του κάθε αγροκτήματος. Αυτό βέβαια γινόταν σχετικά εύκολα λόγω του μικρού μεγέθους των εκμεταλλεύσεων και της μορφής των εργασιών που ήταν ως επί το πλείστον χειρονακτικές. Με την μεγέθυνση των εκμεταλλεύσεων και την εντατική εκμηχάνιση είναι πλέον πολύ δυσκολότερη η διαχείριση της μεταβλητότητας των εδαφικών παραμέτρων μέσα στο ίδιο χωράφι χωρίς τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών (Stafford, 2000).

Η ενσωμάτωση των τεχνολογιών που παρέχουν πληροφορίες για τις πρακτικές γεωργικής παραγωγής άρχισε στα μέσα της δεκαετίας του '80 και έχει αυξηθεί αισθητά τα τελευταία χρόνια. Ενώ η χρήση των πληροφοριών στη λήψη αποφάσεων για γεωργικά θέματα δεν είναι νέα. Η γεωργία σήμερα μπορεί να έχει πρόσβαση στην ποσότητα πληροφοριών οι οποίες μπορούν να συλλεχθούν, να αναλυθούν, και να χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση των εισροών και των αποτελεσμάτων των γεωργικών πρακτικών. Η εφαρμογή των νέων τεχνολογιών που

μπορούν να συγκεντρώσουν, να αναλύσουν και να χρησιμοποιήσουν χωρικές πληροφορίες στη γεωργία για τη βελτίωση της διαχείρισης των αγροκτημάτων είναι γνωστή από διάφορους όρους, συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας ακριβείας, precision agriculture, precision farming, site specific management (διαχείριση ανά συγκεκριμένη περιοχή). Έχουν γίνει κατά καιρούς πολλές προσπάθειες προκειμένου να ενσωματωθούν οι τεχνολογίες στις γεωργικές πρακτικές. Οι περισσότεροι επιστήμονες έχουν εστιάσει στη δυνατότητα να συγκεντρωθούν τα δεδομένα, να αναλυθούν και τα αποτελέσματα να χρησιμοποιηθούν για να διαφοροποιηθούν οι εισροές μέσα στο αγροτεμάχιο (Φτάκα, 2006).

Η γεωργία ακριβείας προτείνει ένα καινούργιο τρόπο διαχείρισης των αγροκτημάτων εκμεταλλευόμενη την πρόοδο στους τομείς των αισθητήρων, των συστημάτων γεωγραφικού εντοπισμού θέσης (GPS) και γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων (GIS), στην αποτύπωση όσο το δυνατόν καλύτερα της παραλλακτικότητας των χαρακτηριστικών του εδάφους και της καλλιέργειας τόσο χωρικά όσο και χρονικά, ώστε να καθορίζει τις ορθές εισροές που χρειάζονται σε κάθε υπό τεμάχιο του αγρού. Ανώτερος στόχος της γεωργίας ακριβείας είναι να προσαρμόσει όλες τις καλλιεργητικές φροντίδες και αποφάσεις στην κλίμακα αυτής της μεταβλητότητας - παραλλακτικότητας (Μαρκινός, κ.α., 2003).

Με τον όρο γεωργία ακρίβειας ορίζουμε τη διαχείριση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας των αγρών προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα των αγροκτημάτων ή και να επιτευχθεί η μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από την ορθολογική χρήση των εισροών (Γέμτος, κ.α., 2006). Είναι επομένως ένα σύστημα διαχείρισης αγροκτημάτων που χρησιμοποιεί την πληροφορική και την εφαρμοσμένη

ηλεκτρονική, βοηθώντας έτσι το γεωργό στη λήψη αποφάσεων για τη καλύτερη διαχείριση του αγροκτήματος του. Ο όρος καλύτερη διαχείριση μπορεί να σημαίνει βελτίωση της οικονομικής απόδοσης του αγροκτήματος είτε με αύξηση της παραγωγής είτε με μείωση των εισροών, είτε με συνδυασμό και των δύο. Επιπλέον μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση των τυχόν αρνητικών επιπτώσεων της γεωργίας στο περιβάλλον, εφόσον εφαρμόζεται η αναγκαία ποσότητα εισροών σε κάθε σημείο του αγρού. Το χαρακτηριστικό είναι ότι αντί να γίνονται οι καλλιεργητικές φροντίδες με βάση τις μέσες τιμές παραγωγής και γονιμότητας του εδάφους είναι δυνατή η εφαρμογή διαφορετικών δόσεων εισροών για κάθε τμήμα του αγρού ανάλογα με τις πραγματικές του ανάγκες (Γέμτος, κ.α., 2003).

Ωθηση στην ανάπτυξη των συστημάτων γεωργίας ακρίβειας δόθηκε από την εφαρμογή για πρώτη φορά από την εταιρεία Massey Ferguson, αισθητήρων χαρτογράφησης της παραγωγής σε θεριζοαλωνιστικές. Τα συστήματα αυτά βελτιώθηκαν κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '90. Η βελτίωση αυτή οφειλόταν κυρίως στη βελτίωση των συστημάτων εντοπισμού θέσης πάνω στην επιφάνεια του εδάφους (GPS). Τα συστήματα αυτά εφαρμόστηκαν αρχικά στα τέλη της δεκαετίας του '70 και δεν ήταν διαθέσιμα για ελεύθερη χρήση μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '90 (Stafford, 2000). Τα GPS τα τελευταία χρόνια έχουν βελτιωθεί σημαντικά και μάλιστα έχουν καταφέρει να βελτιώσουν την ακρίβεια σε λίγα μέτρα έως και εκατοστά σε συστήματα με βοηθητικούς επίγειους σταθμούς. Συνδυαστικά με τη βελτίωση των GPS και των ηλεκτρονικών είναι πλέον δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στη γεωργία και να δώσουν σημαντικά βελτιωμένα αποτελέσματα (Γέμτος, κ.α., 2003).

Η πρώτη εφαρμογή χαρτογράφησης της παραγωγής πραγματοποιήθηκε στα σιτηρά, όπου ο συνδυασμός μέτρησης της παραγωγής των σιτηρών, της υγρασίας του σπόρου και της θέσης της μηχανής έδωσε τη βάση για τη δημιουργία θεματικών χαρτών παραγωγής. Αρχικά η έρευνα επικεντρώθηκε στα σιτηρά, ενώ αργότερα άρχισαν να παράγονται αισθητήρες, οπτικούς αισθητήρες όπως σε καλλιέργειες βαμβακιού (Tomasson, et al., 1999; Vellidis, et al., 2003), όπως και με τη χρήση δυναμοκυψελών στην αλυσίδα μεταφοράς του προϊόντος σε ζαχαρότευτλα (Hoffman, et al., 1995), σε βιομηχανική τομάτα (Pelletier, et al., 1999), χορτοδοτικά φυτά (Auernhammer, et al., 1995; Kromer, et al., 1999; Lee, et al., 2005), φιστίκια (Vellidis, et al., 2001), κ.α. Τα τελευταία μάλιστα χρόνια έχουν εμφανιστεί συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής σε καλλιέργειες φρούτων και λαχανικών.

Οι εφαρμογές κυρίως στα σιτηρά έχουν εμπορική εφαρμογή από τις αρχές της δεκαετίας του '90, ενώ οι άλλες εφαρμογές άρχισαν στο τέλος της δεκαετίας του '90 και τις αρχές του 2000 (Griffin, et al., 2004). Οι τεχνικές γεωργίας ακριβείας εφαρμόζονται κυρίως σε εξαιρετικά παραγωγικές περιοχές της Ευρώπης (Δανία, Γαλλία, Γερμανία, Ηνωμένο Βασίλειο), στις ΗΠΑ και στην Αυστραλία (STOA 2013).

Η τεχνολογική ανάπτυξη στις μέρες μας, μας δίνει τη δυνατότητα μέτρησης μεγάλου αριθμού παραμέτρων. Οι ερευνητές μέχρι τώρα, έχουν εστιάσει περισσότερο στο συνδυασμό όλων των παραμέτρων χωρικά και χρονικά και στην ανάλυση των δεδομένων αυτών με σκοπό τόσο το κέδρος για τον παραγωγό (Gemtos, et al., 2002), όσο και για την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων (Zhang, et al., 2002).

Η μεγάλη παραλλακτικότητα ενός αγροκτήματος έχει ως αποτέλεσμα και την επιτυχία διαχείρισης, σύμφωνα με τους κανόνες της γεωργίας ακριβείας δεδομένου ότι εφαρμόζονται καλλιεργητικές εισροές π.χ λιπάσματα, με διαφοροποιούμενη δόση, ανάλογα με τις ανάγκες των ζωνών διαχείρισης που ορίζονται. Αντιθέτως σε ένα ομοιογενές αγρόκτημα, όσον αφορά την παραγωγή και τις εδαφολογικές παραμέτρους, μια τέτοια διαχείριση δεν προσφέρει ιδιαίτερα πλεονεκτήματα. Συμπερασματικά θα λέγαμε ότι για την εφαρμογή αυτής της ακριβέστερης διαχείρισης προϋπόθεση είναι η ύπαρξη παραλλακτικότητας του αγρού (φυτών, εδάφους, τοπογραφίας) και της παραγωγής και ο τρόπος που αυτή κατανέμεται στην έκταση του κάθε αγροκτήματος κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και των ετών (Μαρκινός, κ.α. 2003).

Από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην Ελλάδα σε αγροτεμάχια της Κεντρικής Ελλάδας, προέκυψε ότι σε πολλά από αυτά υπάρχουν διαφορές στην παραγωγή που μπορούν να ομαδοποιηθούν σε ζώνες διαφορετικής παραγωγής που ονομάζονται ζώνες διαχείρισης (Markinos, et al., 2002). Οι διαφορές αυτές οφείλονται είτε σε τυχαίους, είτε σε συστηματικούς παράγοντες. Οι τυχαίοι αφορούν τα μετεωρολογικά δεδομένα, καθώς και τις διάφορες ασθένειες και εχθρούς που διαφέρουν από κάθε χρονιά. Οι συστηματικοί παράγοντες αφορούν ιδιότητες κυρίως του εδάφους, όπως οι φυσικές και χημικές ιδιότητες και η μηχανική του σύσταση, το ανάγλυφο.

Από μελέτες που πραγματοποιήθηκαν αποδείχθηκε ότι η μεταβλητότητα του εδάφους εμφανίζεται σε όλες τις κλίμακες από μια ολόκληρη περιοχή ακόμη και σε απόσταση μερικών εκατοστών μέσα στο ίδιο χωράφι. Οι Bouma και Finke (1993) διαίρεσαν τη μεταβλητότητα των

χαρακτηριστικών του εδάφους σε κάποιες βασικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία είναι η στατική μεταβλητότητα χαρακτηριστικών όπως είναι η υφή, η δομή του εδάφους και η οργανική ουσία. Η δεύτερη αφορά τη δυναμική μεταβλητότητα χαρακτηριστικών όπως η υγρασία και η θερμοκρασία. Η μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών αυτών έχει άμεση σχέση με τις εκάστοτε συνθήκες που επικρατούν στο χωράφι, αλλά η μεταβλητότητα των φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών θεωρείται σημαντική για τους ερευνητές, διότι πιθανόν να αποτελούν την κύρια αιτία της μεταβλητότητας της παραγωγής (Μαρκινός, κ.α., 2003).

Επομένως η απεικόνιση (χαρτογράφηση) των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του κάθε αγροκτήματος σ' όλη του την έκταση αποτελεί μια βασική δραστηριότητα της γεωργίας ακριβείας. Προκειμένου να επιτευχθεί χρησιμοποιείται η τεχνική της δειγματοληψίας σε ισαπέχοντα σημεία πλέγματος (grid sampling). Συνήθως το πλέγμα που δημιουργείται είναι αρκετά πυκνό ούτως ώστε να παράγονται όσο το δυνατό πιο αξιόπιστοι χάρτες. Κάτι τέτοιο όμως απαιτεί αρκετή εργασία και επιβαρύνει την όλη διαδικασία τόσο χρονικά αλλά κυρίως οικονομικά. Ως εκ τούτου κρίνεται σκόπιμο να αποτυπώνεται η μεταβλητότητα του εδάφους με τη χρήση της κατευθυνόμενης δειγματοληψίας (directed sampling), πριν τη λήψη και ανάλυση δειγμάτων, ώστε στη συνέχεια να παίρνονται και να αναλύονται δείγματα από συγκεκριμένα σημεία που θα αντιπροσωπεύουν μια ευρύτερη ζώνη διαχείρισης (Lund, et al., 1998).

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει αποτελέσματα από την ανάλυση της παραλλακτικότητας σε ένα αγροτεμάχιο βαμβακοκαλλιέργειας στην περιοχή του πρώην δήμου Κάμπου, της Τ.Κ Μυρίνης του Νομού Καρδίτσας προκειμένου να διαπιστωθεί αν είναι σκόπιμο να εφαρμοστεί γεωργία ακριβείας. Στόχος του πειράματος ήταν να καταγραφεί η

παραλλακτικότητα που παρουσίαζε ο αγρός με μετρήσεις του δείκτη ευρωστίας (NDVI) και της αντίστασης σε διείσδυση του εδάφους και αυτά να συσχετιστούν με στοιχεία της παραγωγής βαμβακιού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΤΟ ΒΑΜΒΑΚΙ

2.1. Περιγραφή Γεωργίας Ακριβείας

Ο όρος γεωργία ακριβείας (Precision Farming or Precision Agriculture or site - specific management) σημαίνει την τεχνική της καλλιέργειας, που αντιμετωπίζει διαφορετικά κάθε τμήμα του εδάφους, με βάση τη γονιμότητα και την απόδοση κάθε τμήματος του αγρού (Earl, et al, 2003). Τα πιθανά οφέλη από τη διαχείριση των καλλιεργειών χρησιμοποιώντας τεχνικές γεωργίας ακριβείας είναι: (1) Το οικονομικό όφελος από την αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών, ή και μείωση των εισροών, δηλαδή σπόρων, λιπασμάτων, αρδευτικού νερού και αγροτοχημικών προϊόντων και (2) Τα περιβαλλοντικά οφέλη από μια πιο ακριβή στόχευση των γεωργικών χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται (Godwin, et al, 2003a).

Η αποτελεσματικότητα της γεωργίας ακριβείας έγκειται στις δυνατότητες που δίνει στον αγρότη για την έγκαιρη και έγκυρη ενημέρωση του αγρότη σχετικά με τη γονιμότητα και τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, την πορεία ανάπτυξής της καλλιέργειας, τα χαρακτηριστικά των φυτών, το μέγεθος του πληθυσμού των ζιζανίων και εντόμων, τη συγκομιδή και τη μετασυλλεκτική μεταχείριση των προϊόντων. Επίσης στηρίζεται στη σύγχρονη τεχνολογία και στη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή και του σχετικού λογισμικού, στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) και στο Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (GPS), για τη χαρτογράφηση των αγρών καθώς και στη σωστή διαχείριση που

συνδυάζει την πληροφόρηση με την τεχνολογία για την καλύτερη επιτυχία του συστήματος (McKinion, et al., 2001).

Η παραδοσιακή γεωργία στηρίζεται στην υπόθεση της ομοιογένειας των αγροτεμαχίων όσον αφορά τη γονιμότητα του εδάφους, το μέγεθος του πληθυσμού των εντόμων και ζιζανίων, την υγρασία του εδάφους, τα χαρακτηριστικά των φυτών, κλπ. Η εφαρμογή των εισροών όπως σπόρων, λιπασμάτων, αρδευτικού νερού και αγροτοχημικών προϊόντων είναι ενιαία σε όλη την έκταση του αγρού (Weiss, 1996). Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τους Earl et al. (2003), Godwin et al. (2003a) και Markinos et al. (2003) το πιο συνηθισμένο φαινόμενο σε ένα αγρό είναι η έντονη ποικιλομορφία και διαφοροποίηση των εδαφών (παραλλακτικότητα) του σε όλη την έκτασή του. Μελέτη των Onken and Suderman (1972) απέδειξε ότι η ομοιογενής εφαρμογή γεωργικών πρακτικών σε όλη την έκταση ενός αγροτεμαχίου οδηγεί σε πολλές περιοχές του αγρού σε περίσσια και άλλες σε έλλειψη που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής, των κερδών αλλά και την αύξηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Η εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας στο βαμβάκι είχε μια σχετική καθυστέρηση σε σχέση με άλλες καλλιέργειες λόγω της ανάπτυξης αισθητήρα μέτρησης παραγωγής σχεδόν 10 χρόνια μετά την ανάπτυξη του αντίστοιχου συστήματος στα σιτηρά. Τα τελευταία χρόνια όμως υπάρχει πληθώρα μελετών που αναφέρεται στην καλλιέργεια βαμβακιού με την τεχνική της γεωργίας ακριβείας (McKinion, et al., 2001; Markinos, et al., 2002; Larson, et al., 2008; Zarco-Tejada, et al., 2005; Markinos, et al., 2003; Velandia, et al., 2010; Mooney, et al., 2010).

Η χρήση των εφαρμογών γεωργίας ακριβείας τα τελευταία χρόνια επιτρέπει τη χαρτογράφηση της παραγωγής για κάθε τμήμα του αγρού,

καθώς και τη διαφοροποίηση της χρησιμοποιούμενης ποσότητας σπόρου και λιπάσματος ανάλογα με τη γονιμότητα του εδάφους, των ζιζανιοκτόνων ανάλογα με την πυκνότητα των υπαρχόντων ζιζανίων, των εντομοκτόνων ανάλογα με την προσβολή εντόμων, κλπ. Τα οφέλη όμως από την αύξηση της παραγωγής και τη μείωση της εφαρμογής των λιπασμάτων και αγροχημικών θα πρέπει πάντα να αντισταθμίζονται από το κόστος της επένδυσης για τον αναγκαίο τεχνολογικό εξοπλισμό που απαιτείται για την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας (Μυγδάκος, κ.α., 2004).

2.2. Τεχνολογίες Γεωργίας Ακριβείας

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιεί η γεωργία ακριβείας είναι: τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, τα Παγκόσμια Συστήματα Εντοπισμού Θέσης, οι αισθητήρες (sensors), τα Συστήματα Μεταβλητών Δόσεων Εφαρμογών, τα Συστήματα χαρτογράφησης αποδόσεων, η Τηλεπισκόπηση και Μετρήσεις στο Πεδίο. Αναλυτικότερα:

2.2.1. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems – G.I.S.) είναι βάσεις δεδομένων που αποθηκεύουν γεωδεμένα στοιχεία. Αποτελούνται από ένα μεγάλο αριθμό εργαλείων για την εισαγωγή, αποθήκευση, επανάκτηση, μετασχηματισμό και απόδοση χωρικών δεδομένων του περιβάλλοντος, για την ικανοποίηση ενός συνόλου εξειδικευμένων απαιτήσεων. Διαχειρίζονται και συνδυάζουν εισερχόμενες πληροφορίες, δίνοντας αποτελέσματα σε μορφή χαρτών και πινάκων. Οι παραγόμενοι χάρτες, ονομάζονται θεματικοί (thematic maps), και δείχνουν τη χωρική κατανομή του εκάστοτε παράγοντα που

υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία (π.χ. υψομέτρου, απόδοσης, θρεπτικών στοιχείων, εδαφικής υγρασίας, κ.λπ.) (Καρυδάς και Συλλαίος, 2000).

2.2.2 Παγκόσμια Συστήματα Εντοπισμού Θέσης

Το GPS (Global Positioning System), Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης, μπορεί να εντοπίσει και να καταγράψει τις συντεταγμένες σε κάθε σημείο στην επιφάνεια της γης. Βασίζεται σε ένα "πλέγμα" είκοσι τεσσάρων δορυφόρων που κινούνται σε τροχιά γύρω από τη Γη και σε ειδικές συσκευές, οι οποίες ονομάζονται "δέκτες GPS". Οι δέκτες αυτοί παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για τη θέση ενός σημείου, το υψόμετρό του, την ταχύτητα και την κατεύθυνση της κίνησης του. Τέλος σε συνδυασμό με κάποιο λογισμικό χαρτογράφησης μπορούν να απεικονίσουν γραφικά οι πληροφορίες αυτές (Καρυδάς και Συλλαίος, 2000; <http://el.wikipedia.org>).

2.2.3 Τεχνολογία συστημάτων Μεταβλητών Εφαρμογών

Τα Συστήματα Μεταβλητών Εφαρμογών (Variable Rate Application Technology – V.R.A. ή V.R.T.) είναι συστήματα λογισμικού και εξοπλισμού, που μπορούν να μεταβάλουν την ποσότητα εφαρμογής των εισροών (σπόρων, λιπασμάτων, νερού, φαρμάκων, κ.λπ.) ή και να εφαρμόζουν ταυτόχρονα διαφορετικούς τύπους εισροών (π.χ. ποικιλία του σπόρου, ή είδος λιπάσματος). Αυτό πραγματοποιείται την ίδια στιγμή που γίνεται η εφαρμογή των εισροών, αναλόγως με το σημείο του αγροτεμαχίου στο οποίο βρίσκονται με βάση χάρτες εφαρμογής ή σήματα αισθητήρων κατά την κίνηση (Καρυδάς και Συλλαίος, 2000).

Η εφαρμογή των συστημάτων μεταβλητών εφαρμογών διαφοροποιείται ανάλογα με τα προϊόντα που πρόκειται να εφαρμοστούν καθώς και από την πηγή των πληροφοριών που χρησιμοποιούν για να διαφοροποιήσουν

τις δόσεις που εφαρμόζουν. Τα υπάρχοντα εμπορικά συστήματα μεταβλητών εφαρμογών (Φτάκα, 2006) βασίζονται:

1. Σε χάρτες που στηρίζονται σε στοιχεία προηγούμενων περιόδων (ιστορικά στοιχεία). Τα όργανα που απαιτούνται για την εφαρμογή μεταβλητών δόσεων είναι ένα GPS ακριβείας ή DGPS και μια μονάδα ελέγχου που αποθηκεύει το σχέδιο εφαρμογής του επιθυμητού ποσοστού εισροών για κάθε θέση μέσα στο αγροτεμάχιο, και
2. Σε αισθητήρες, χωρίς την απαίτηση του GPS, αλλά μιας δυναμικής μονάδας ελέγχου που καθορίζει την εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο, πραγματοποιώντας υπολογισμούς των μετρήσεων αισθητήρων (εδάφους ή καλλιέργειας) με τη βοήθεια ειδικών αλγορίθμων, σε κάθε θέση μέσα στο αγροτεμάχιο.
3. Συνδυασμός των δύο προηγούμενων εφαρμογών.

2.2.4 Συστήματα Χαρτογράφησης Αποδόσεων

Τα συστήματα χαρτογράφησης αποδόσεων μετρούν και καταγράφουν τη την απόδοση των καλλιεργειών σε κάθε σημείο του αγρού. Αυτά τα συστήματα συλλέγουν στοιχεία όσον αφορά στην καλλιέργεια όπως για παράδειγμα την υγρασία ή την ποσότητα συγκομιζόμενων σπόρων σιτηρών. Οι μετρήσεις που προκύπτουν καταγράφονται σε πίνακες, όπου για κάθε θέση υπάρχει η παραγωγή και οι αντίστοιχες χωρικές συντεταγμένες, που λαμβάνονται την ίδια στιγμή από G.P.S. Με τη βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών οι πίνακες που παράγονται από το σύστημα μέτρησης της παραγωγής μετατρέπονται σε χάρτες αποδόσεων (yield maps). Οι χάρτες που δημιουργούνται είναι δυνατόν να δώσουν εξηγήσεις όσον αφορά στην παραλλακτικότητα της

παραγωγής είτε από τις φυσικές διαδικασίες είτε από τις γεωργικές πρακτικές. Δεδομένου ότι η απόδοση μιας καλλιέργειας είναι ουσιαστικός παράγοντας όσον αφορά στις στρατηγικές διαχείρισης, όσο ακριβέστεροι είναι οι προκύπτοντες χάρτες, τόσο καλύτερες αποφάσεις χειρισμού των καλλιεργειών θα παίρνονται (Καρυδάς και Συλλαίος, 2000; Φτάκα, 2006).

2.2.5 Τηλεπισκόπηση

Η τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη της απόκτησης ποιοτικής και μετρητικής πληροφορίας ενός φαινομένου ή αντικειμένου από απόσταση, χωρίς τη φυσική επαφή με το υπό μελέτη φαινόμενο ή αντικείμενο (Τζώτσος, 2010). Η αρχή της τηλεπισκόπησης στηρίζεται στην καταγραφή τμημάτων της ανακλώμενης ακτινοβολίας από την επιφάνεια της γης. Τα επιμέρους όργανα που χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπηση είναι οι ανιχνευτές οι οποίοι φέρονται από τους δορυφόρους ή αεροσκάφη σε μεγάλα ύψη, ή από μη επανδρωμένα οχήματα (drones), οι ψηφιακές κάμερες για αεροπορική λήψη, καθώς και φασματόμετρα ή ραδιόμετρα. Η μέθοδος της τηλεπισκόπησης δύναται να χρησιμοποιηθεί από τους αγρότες δεδομένου ότι έχει μεγάλη ακρίβεια και μπορεί να δώσει πληροφορίες όπως τη δυνατότητα ανίχνευσης απώλειας φυτών, αλλά και εκτίμηση της ευρωστίας των φυτών που το υποδεικνύουν τα φασματικά δεδομένα (Καρυδάς και Συλλαίος, 2000).

2.2.6 Μετρήσεις στο Πεδίο

Οι Μετρήσεις Πεδίου περιλαμβάνουν τη δειγματοληψία εδάφους ή καλλιέργειας και ακολούθως εργαστηριακούς προσδιορισμούς των ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών των εδαφών ή καλλιεργειών, τα

δεδομένα τα οποία όταν γεωδετηθούν θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύνταξη θεματικών χαρτών (Καρυδάς και Συλλαίος, 2000).

2.2.7 Στάδια Εφαρμογής Γεωργίας Ακριβείας

Η εφαρμογή ενός γενικού συστήματος γεωργίας ακριβείας μπορεί να χωριστεί σε τρεις φάσεις:

1. Συλλογή Δεδομένων (Data Acquisition).

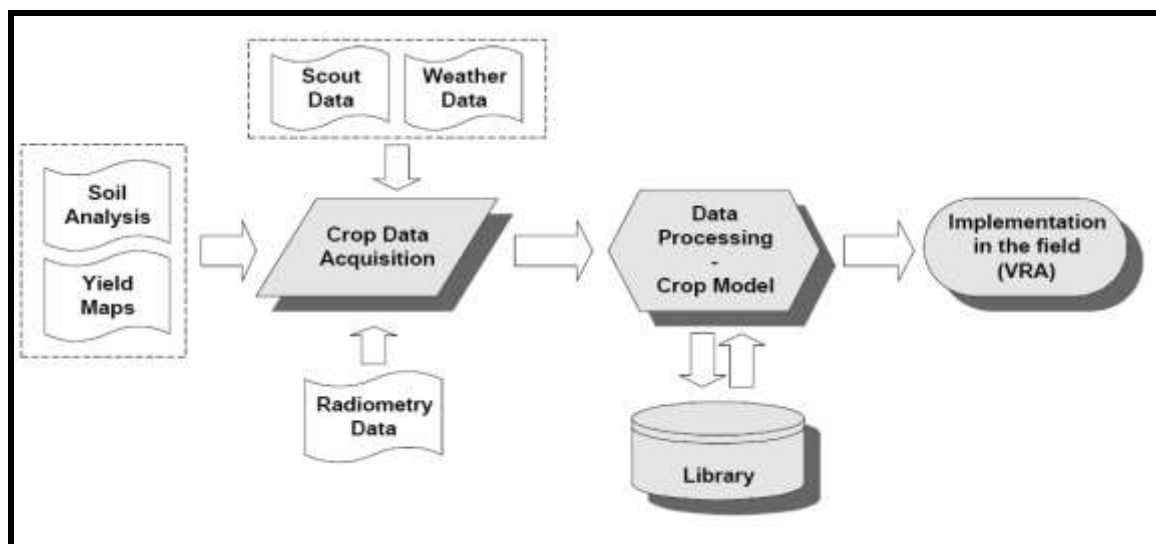
Η συλλογή δεδομένων είναι μια χρονοβόρα διαδικασία και απαιτεί σωστό σχεδιασμό και σημαντική επένδυση, τόσο σε οικονομικό όσο και σε χρονικό επίπεδο. Η βασικότερη πληροφορία σχετικά με τη Γεωργία Ακριβείας είναι η λήψη χωρικών συντεταγμένων, κάτι το οποίο συνοδεύει και συνεργάζεται και με τις υπόλοιπες δράσεις γεωργίας ακριβείας (χαρτογράφηση αποδόσεων, εφαρμογή εισροών, κ.λπ.). Εξαίρεση αποτελεί η πληροφορία που λαμβάνεται από τους αισθητήρες, εφόσον τροφοδοτεί άμεσα τα Συστήματα Μεταβλητών Εφαρμογών με τη βοήθεια τυποποιημένων αλγορίθμων. Η ακρίβεια των χωρικών συντεταγμένων εξαρτάται κυρίως από την ακρίβεια του δέκτη GPS καθώς και από το μέγεθος του αγροτεμαχίου, το βαθμό παραλλακτικότητας του, τον τύπο της καλλιέργειας κλπ. Αρχικά λαμβάνονται οι χάρτες απόδοσης των καλλιεργειών για τα προηγούμενα έτη και η παραλλακτικότητα αυτών χωρίς όπως να προσδιορίζονται τα αίτια της παραλλακτικότητας. Για τη διάγνωση των αιτίων της παραλλακτικότητας και για περαιτέρω διερεύνηση δύναται να χρησιμοποιηθούν η Τηλεπισκόπηση και οι Μετρήσεις Πεδίου (Markinos et al., 2002; Καρυδάς και Συλλαίος, 2000).

2. Επεξεργασία (Data Processing)

Κατά την επεξεργασία χρησιμοποιούνται τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών όπου εισάγονται τα δεδομένα (χάρτες, αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες, μετρήσεις στο πεδίο, ψηφιακά αρχεία, κ.ά.). Τα δεδομένα αυτά αποθηκεύονται, αναλύονται και μοντελοποιούνται και προκειμένου να αναδειχθούν τα αίτια της παραλλακτικότητας. Για την ανάλυση χρησιμοποιούνται μέθοδοι γεωστατιστικής.

3. Εφαρμογή Αποτελεσμάτων (Variable Rate Application)

Το στάδιο της εφαρμογής των εισροών είναι το τρίτο και τελευταίο στάδιο του συστήματος Γεωργίας Ακριβείας. Η εφαρμογή συστημάτων μεταβλητών εφαρμογών των εισροών γίνει είτε με την ανάγνωση θεματικών χαρτών, είτε με την λήψη απευθείας εντολών από αισθητήρες (π.χ. αισθητήρες εδαφικής υγρασίας ή αισθητήρες μέτρησης χλωροφύλλης), που φέρονται στο ίδιο όχημα με τα παρελκόμενα εφαρμογών (εφαρμογή βασισμένη σε αισθητήρα - sensor based application). (Markinos, et al., 2002; Morgan, 1995).



Διάγραμμα 2.1. Ολοκληρωμένο Σύστημα Γεωργίας Ακριβείας Πηγή: Markinos, et al., 2002

4. Αξιολόγηση της εφαρμογής

Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της διάκρισης των ζωνών διαχείρισης και την εφαρμογή μεταβλητών εισροών σε καλλιέργειες με σκοπό τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την εφαρμογή εισροών της επόμενης χρονιάς.

5. Το σύστημα αρχίζει πάλι την επόμενη χρονιά και συνεχίζεται με συνεχείς βελτιώσεις

Το σύστημα διαχείρισης των καλλιεργειών με τη χρήση της γεωργίας ακριβείας αρχίζει και πάλι την επόμενη χρονιά. Με τον τρόπο αυτό καθιερώνεται ένας σταθερός κύκλος διαχείρισης, που επιτρέπει τη συνεχή βελτίωση.

Με τη συνεχή βελτίωση επιδιώκεται μεγαλύτερη εξοικονόμηση κόστους από την εφαρμογή των εισροών, προσαρμογή των καμπυλών απόκρισης στις κατάλληλες ζώνες και βελτιστοποίηση της απόδοσης των καλλιεργειών.

2.3. Εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας στην καλλιέργεια βαμβακιού

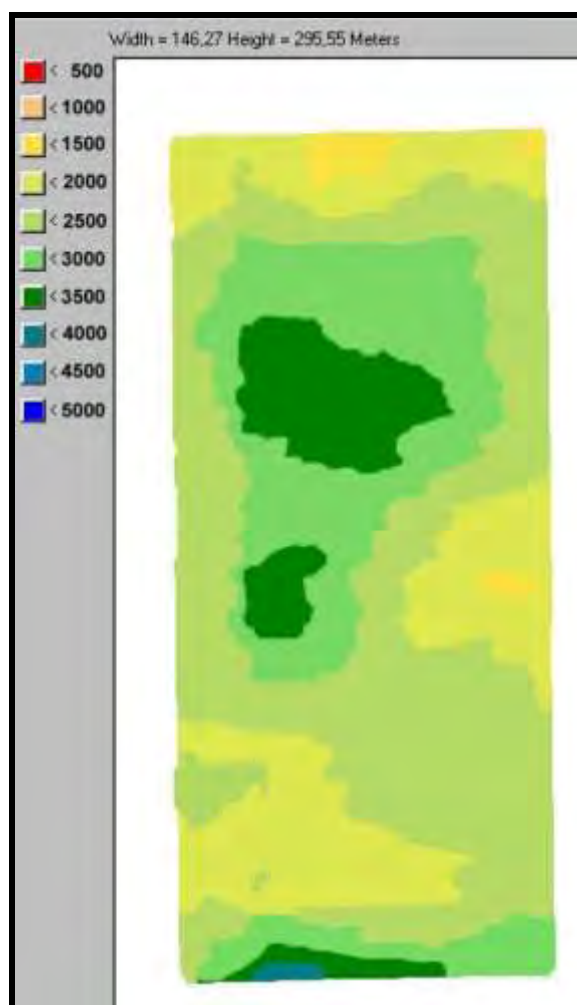
2.3.1. Στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα η εφαρμογή των τεχνικών της Γεωργίας Ακριβείας καθυστέρησε λόγω της μικρής έκτασης των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, του χαμηλού μορφωτικού επιπέδου των γεωργών και γενικότερα της προσκόλλησής τους στις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής και στις επιδοτήσεις των προϊόντων αλλά και εξαιτίας της καθυστέρησης στην υιοθέτηση των τεχνολογικών εξελίξεων λόγω έλλειψης κατάλληλης τεχνογνωσίας για τα οφέλη της εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας στις καλλιέργειες του Ευρωπαϊκού Νότου κυρίως στα φρούτα και λαχανικά (Γέμτος κ.α., 2006). Η εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας άρχισε να μελετάται στην Ελλάδα το 2001 σε καλλιέργεια βάμβακος (Gemtos, et al., 2002).

Το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας σε συνεργασία με το ΕΘΙΑΓΕ (Παράρτημα Λάρισας) ξεκίνησε από το 2001 μια προσπάθεια εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας στην καλλιέργεια βαμβακιού στο νομό Καρδίτσας με τη χαρτογράφηση της παραγωγής σε συνδυασμό με αποτελέσματα αναλύσεων του εδάφους και την αποτύπωση των αποτελεσμάτων σε χάρτες παραγωγής (Markinos, et al., 2002; Gemtos, et al., 2002).

Η πρώτη γνωστή εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας έλαβε χώρα το φθινόπωρο του 2001 σε τρεις αγρούς τα αποτελέσματα της οποίας περιγράφονται στο άρθρο των Markinos et al. (2002). Τα αποτελέσματα της εφαρμογής έδειξαν σημαντική διαφοροποίηση της παραγωγής και δημιουργία χαρακτηριστικών ζωνών παραγωγής ακόμα και σε αγρούς μικρού μεγέθους η οποία κυμαίνεται από 200 έως και πάνω από 400 κιλά το στρέμμα. Στην Εικόνα 2.1 φαίνεται ένα παράδειγμα χάρτη παραγωγής

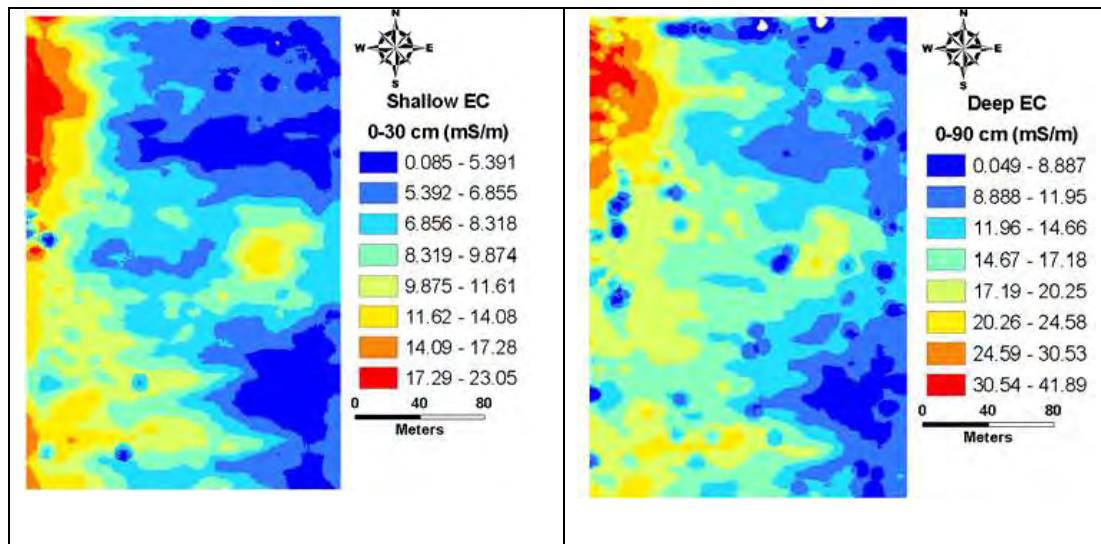
βαμβακιού με χαρακτηριστικές ζώνες διαφορετικής παραγωγής. (Markinos et al., 2002).



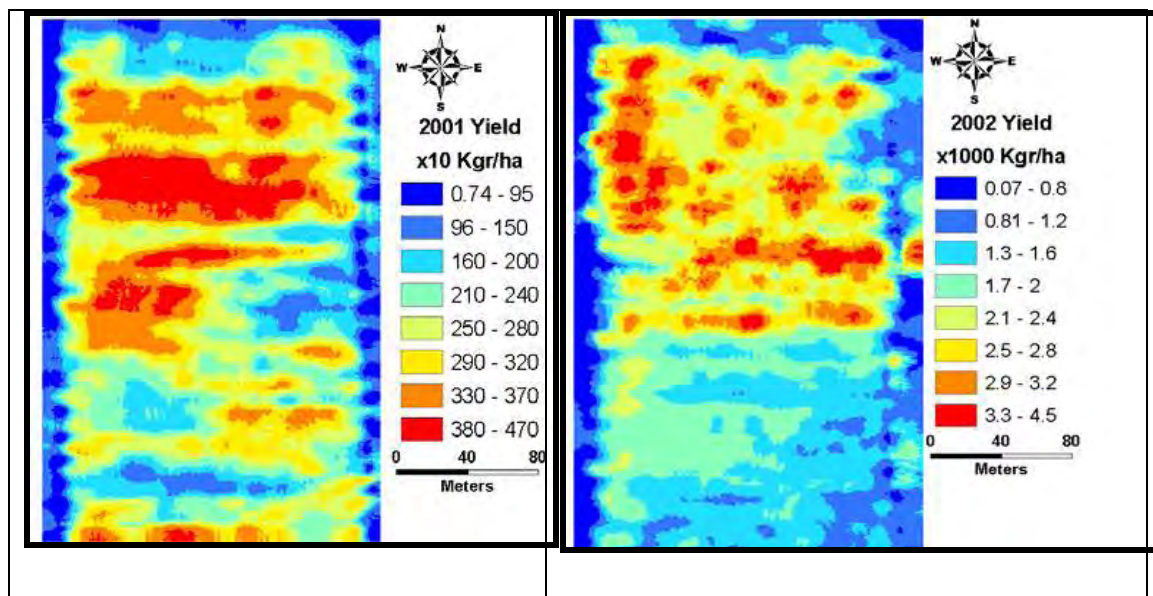
Εικόνα 2.1. Χάρτης παραγωγής βαμβακιού με χαρακτηριστικές ζώνες διαφορετικής παραγωγής. Πηγή: Markinos, et al., 2002

Η γεωργία ακριβείας εφαρμόστηκε σε ένα αγροτεμάχιο έκτασης 43 στρεμμάτων, με στόχο τη συσχέτιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους με την παραγωγή (Μαρκίνος κ.α., 2003). Τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης για την ηλεκτρική αγωγιμότητα φαίνονται στην εικόνα 2.2. ενώ για την παραγωγή τα έτη 2001 και 2002 στην εικόνα 2.3. Οι χάρτες δείχνουν σημαντική χωρική παραλλακτικότητα των τιμών τόσο της παραγωγής όσο και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Πάρα ταύτα

υπάρχουν ζώνες οι οποίες παρουσιάζουν τις ίδιες τιμές γεγονός που δείχνει ότι μια πιο εντοπισμένη έρευνα σε μικρότερη κλίμακα θα μπορούσε να δώσει πιο λεπτομερή και εντοπισμένα αποτελέσματα (Εικόνα 2.2 & 2.3).



Εικόνα 2.2. Χάρτες ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε βάθος έως 30cm (αριστερά) και βάθος έως 90cm (δεξιά). Πηγή: Μαρκίνος, 2003



Εικόνα 2.3: Χάρτες παραγωγής βαμβακιού για το έτος 2001 (αριστερά) και για το έτος 2002 (δεξιά). Πηγή: Μαρκίνος, 2003

Συνεχίζοντας την προηγούμενη έρευνα οι Gemtos et al., (2003) προσπάθησαν να συσχετίσουν την απόδοση της καλλιέργειας βαμβακιού με διάφορα χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως η αντίσταση στη διείσδυση, η περιεκτικότητα σε υφή, θρεπτικά στοιχεία αλλά και φυσικές παραμέτρους όπως η συμπίεση του εδάφους που μετρήθηκε με την αντίσταση του εδάφους σε διείσδυση. Από την ανάλυση των δεδομένων βρέθηκε μεγάλη διακύμανση της απόδοσης του του βαμβακιού τόσο στη σημεία του αωρού (χωρική παραλλακτικότητα) όσο και μεταξύ των ετών (χρονική παραλλακτικότητα) κατά τη διάρκεια των δύο ετών της μελέτης καθώς επίσης και τα διάφορα χαρακτηριστικά του εδάφους να επηρεάζουν σημαντικά τις αποδόσεις. (Πίνακας 2.1 & 2.2) (Gemtos, et al., 2003).

Πίνακας 2.1. Συσχετίσεις Απόδοσης Καλλιεργειών και Παραμέτρων
Εδάφους για το έτος 2001. Πηγή: Gemtos, et al., 2003

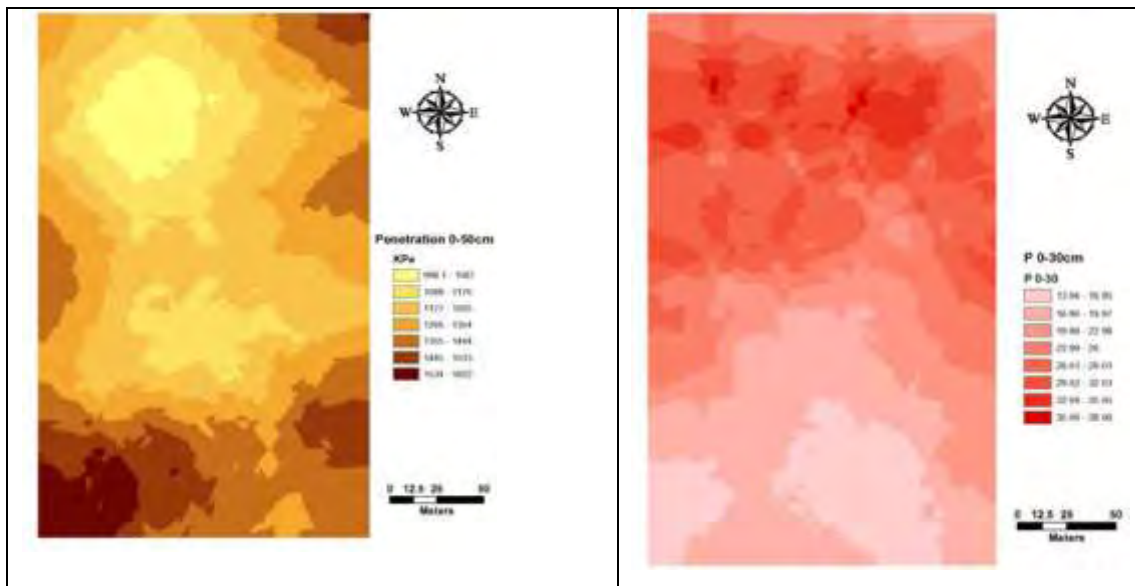
Parameter	Correlation Coefficient	Significance
Organic Matter 0-30	0.300	0.009
P 0-30	0.286	0.012
Clay 30-60	0.406	.000
Sand 30-60	-0.360	0.001
Mg 30-60	0.353	0.002
EC 0-0.60	0.38	0.002
Penetration Resistance 0 – 050 m	-0.205	0.076
Penetration Resistance 0 – 025 m	-0.331	0.000
Penetration Resistance 0 – 030 m	-0.337	0.000
Yield 2002	0.276	0.012

Πίνακας 2.2. Συσχετίσεις Απόδοσης Καλλιεργειών και Παραμέτρων για
το έτος 2002. Πηγή: Gemtos, et al., 2003

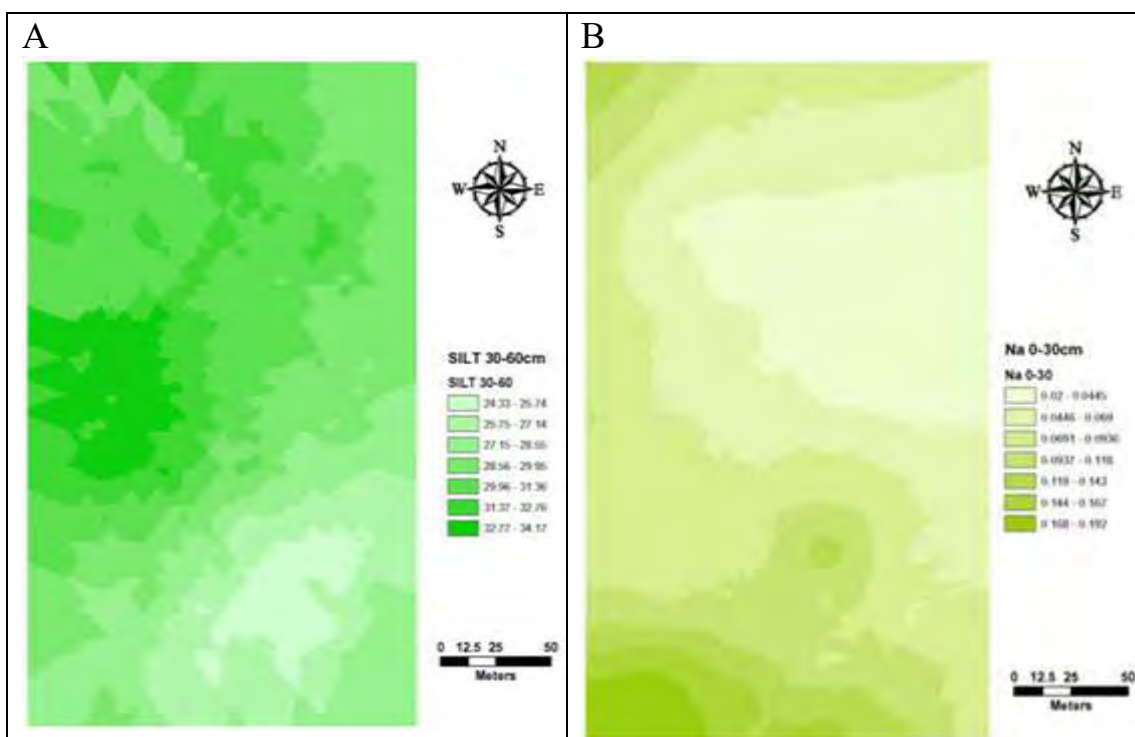
Parameter	Correlation Coefficient	Significance
P 0-30	0.381	0.001
Silt 30-60	0.299	0.09
Sand 30-60	-0.269	0.019
Na 0 -30	-0.513	0.000
EC 0-0.60	0.14	NS
Penetration Resistance 0 – 050 m	-0.367	0.001
Penetration Resistance 0 – 025 m	-0.340	0.000
Penetration Resistance 0 – 030 m	-0.375	0.000
Yield 2001	0.276	0.012

Από τους Πίνακες 1 & 2 φαίνεται ότι οι αποδόσεις των δύο ετών παρουσιάζουν σημαντικά στατιστική συσχέτιση γεγονός που υποδηλώνει ότι η απόδοση της καλλιέργειας επηρεάζεται και από άλλες παραμέτρους. Από τα αποτελέσματα των συσχετίσεων της απόδοσης της καλλιέργειας με τις παραμέτρους φαίνεται ότι η αντίσταση του εδάφους, η περιεκτικότητα σε P καθώς και η περιεκτικότητα σε χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα σωματίδια του εδάφους έχουν σημαντική επίδραση στην απόδοση και για τα δύο έτη. Στις εικόνες 2.4 και 2.5 φαίνονται οι θεματικοί χάρτες των ζωνών με παρόμοιες ιδιότητες οι οποίες αποτελούν τη βάση του μεταβλητού ρυθμού εφαρμογής εισροών στις καλλιέργειες. (Gemtos, et al., 2003)

A	B
----------	----------



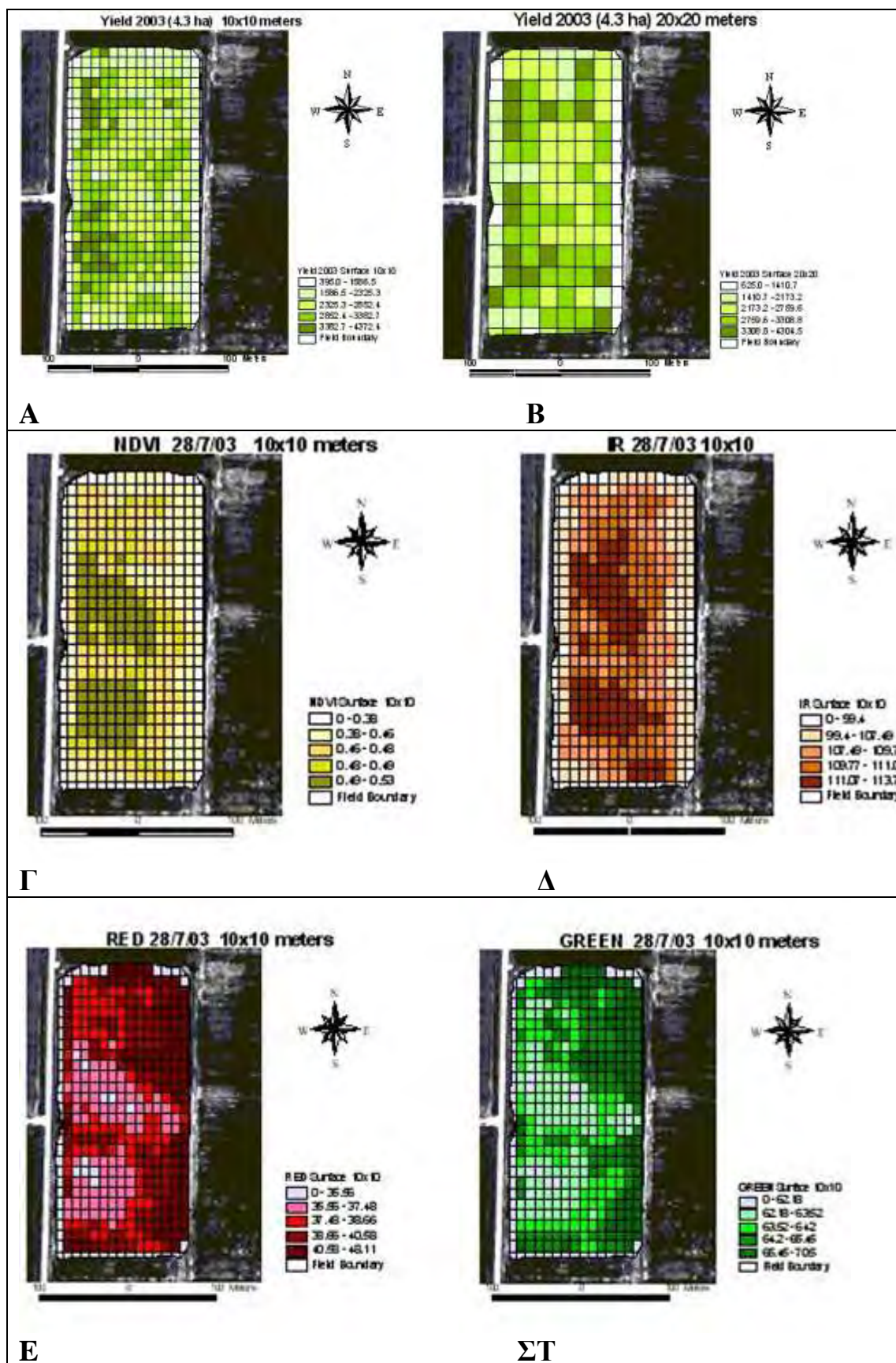
Εικόνα 2.4: Θεματικοί χάρτες μεταβλητών του εδάφους Α) αντίστασης διεύδυσης του εδάφους, Β) Περιεκτικότητα σε Φώσφορο. Πηγή: Gemtos, et al., 2003



Εικόνα 2.5: Θεματικοί χάρτες μεταβλητών του εδάφους Α) Περιεκτικότητα σε ιλύ Β) Περιεκτικότητα σε Na. Πηγή: Gemtos, et al., 2003.

Περαιτέρω έρευνα των Gemtos et al. (2005) συνεχίστηκε στο ίδιο αγρόκτημα, εκτάσεως 43 στρεμμάτων βαμβακιού με εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας τρίτο τρία συνεχόμενο έτος. Ένα από τα αντικείμενα της μελέτης ήταν η αξιολόγηση της ποιότητας της ίνας βαμβακιού, η μέτρηση της παραλλακτικότητας της και η συχέτισή της με την απόδοση της καλλιέργειας. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η συσχέτιση της απόδοσης ή της ποιότητας της ίνας με τις ιδιότητες του εδάφους ήταν σημαντική μόνο στην περίπτωση της αντίστασης διείσδυσης και της περιεκτικότητας σε Mg.

Οι Toullos et al. (2005) συνδυάζοντας δορυφορικές εικόνες και χάρτες απόδοσης βαμβακιού αξιολόγησαν τη μεταβλητότητα στη γεωργία ακριβείας. Η δορυφορική επεξεργασία των δεδομένων έγινε με τη χρήση του λογισμικού RDAS Imagine 8.5. Η εργασία επικεντρώθηκε στη σχέση μεταξύ της απόδοσης και της φασματικής ανακλαστικότητας σε καλλιέργεια βαμβακιού μέσω τριών πολυφασματικών εικόνων δορυφόρου SPOT. Στις Εικόνες 2.6 Α & Β φαίνονται οι χάρτες απόδοσης. Στην Εικόνα 2.6 Γ φαίνεται ο χάρτης του δείκτη NDVI ο οποίος δημιουργήθηκε σύμφωνα το τύπο: $NDVI = (band3 - band2) / (band3 + band2)$, όπου από 0,50 έως 0,59 μm (band 1 πράσινο), 0,61 - 0,68 μm (band 2 κόκκινο) και 0,78-0,89 μm (band 3 εγγύς υπέρυθρο). Οι εικόνες 2.6. Δ, Ε & ΣΤ δείχνουν τις φασματικές εικόνες στο υπέρυθρο (IR) στο ερυθρό (RED) και στο πράσινο (GREEN). Οπτική σύγκριση των χαρτών δείχνει ότι ο χάρτης απόδοσης και ο χάρτης της κοντινής υπέρυθρης ανάκλασης συσχετίζονται. Παρόμοια συσχέτιση παρατηρείται και μεταξύ των χαρτών της απόδοσης και του δείκτη NDVI (Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης).



Εικόνα 2.6. Α & Β. Χάρτες Απόδοσης, Γ. Χάρτης του Δείκτη Βλάστησης NDVI, Δ, Ε & ΣΤ Χάρτες Φασματικής Ανάκλασης. Πηγή: Toullos, et al., 2005.

Ο Πίνακας 2.3 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της απόδοσης και των δεδομένων φασματικής ανάκλασης. Στην περίπτωση του πλέγματος 20mX20m είναι προφανές ότι υπάρχει μεγαλύτερη συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης και του δείκτη NDVI. Γενικότερα θα λέγαμε ότι ο συντελεστής συσχέτισης αυξάνεται όταν το μέγεθος της κυψέλης αυξάνεται. Για παράδειγμα, ο συντελεστής συσχέτισης της απόδοσης με το δείκτη NDVI στις 18 Ιουλίου είναι 0,55, 0,68 και 0,69 στις περιπτώσεις δικτύου 2mX2m, 10mX10m και 20mX20m αντίστοιχα.

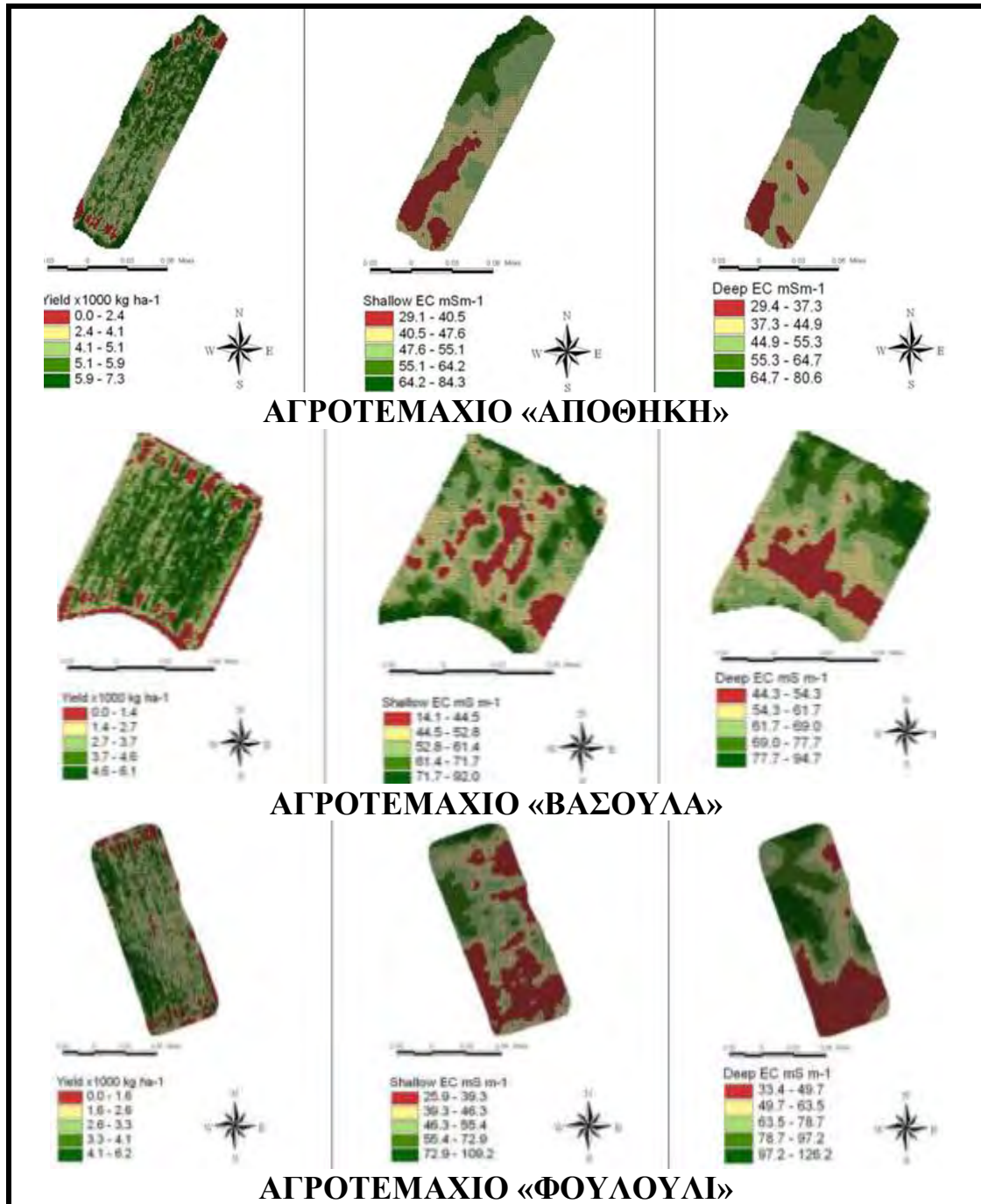
Πίνακας 2.3. Συντελεστής Συσχέτισης Μεταξύ Απόδοσης και Φασματικών Δεδομένων. Πηγή: Toullos, et al., 2005.

Spectral Variables	Spectra 2X2m vs. Yield 2x2m	Spectra 10x10m vs. Yield 10x10m	Spectra 20x20m vs. Yield 20x20m
12/07 NDVI	0.54	0.71	0.68
12/07 SAVI	0.54	0.71	0.68
12/07 IR	0.44	0.68	0.69
12/07 Red	0.15	0.57	0.67
12/07 Green	0.24	0.61	0.68
28/07 NDVI	0.55	0.72	0.70
28/07 SAVI	0.55	0.72	0.70
28/07 IR	0.46	0.68	0.69
28/07 Red	0.16	0.59	0.67
28/07 Green	0.27	0.63	0.68
18/09 NDVI	0.24	0.61	0.68
18/09 SAVI	0.24	0.61	0.68
18/09 IR	0.21	0.60	0.69
18/09 Red	0.24	0.62	0.69
18/09 Green	0.27	0.63	0.69

Τέλος οι Vardoulis et al. (2005), πραγματοποίησαν πειράματα σε τρία διαφορετικά αγροτεμάχια καλλιέργειας βαμβακιού (*Gossypium hirsutum* L.) εκτάσεως 1,76 ha, 2,43 ha και 2,92 ha, στο Ομορφοχώρι Λάρισας. Έγινε συσχέτιση της απόδοσης, της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους, της πυκνότητας των φυτών και του ύψους των φυτών με σκοπό τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την καλύτερη διαχείριση των καλλιεργειών.

Τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης της απόδοσης και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) για τα τρία αγροτεμάχια φαίνονται στην εικόνα 2.7. Τόσο στους χάρτες απόδοσης όσο και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρουσιάζεται σημαντική παραλλακτικότητα. Για παράδειγμα το αγροτεμάχιο «Αποθήκη» διαχωρίζεται σε δύο ζώνες σε σχέση με την απόδοση τη βόρεια όπου υπάρχει υψηλότερη απόδοση σε σχέση με τη νότια. Οι χάρτες της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δείχνουν επίσης τη δυνατότητα διαχωρισμού σε ζώνες, για παράδειγμα στο αγροτεμάχιο «Αποθήκη» όπου στη βόρεια παρατηρείται μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα έναντι της νότιας. Παρόμοια εικόνα παρουσιάζεται και στα

άλλα δύο αγροτεμάχια. Γενικότερο συμπέρασμα της μελέτης είναι ότι παρουσιάστηκε μεγαλύτερη απόδοση στα σημεία με μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα.



Εικόνα 2.7: Απεικόνιση της απόδοσης και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (βάθος 0-30cm και 0-90cm) στα τρία αγροτεμάχια καλλιέργειας βαμβακιού. Πηγή: Vardoulis, et al., 2005

2.3.2. Εκτός Ελλάδος

Όπως προαναφέρθηκε οι αγρότες χρησιμοποιούν τις τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας προκειμένου να μειώσουν το κόστος παραγωγής, να αυξήσουν τα κέρδη και να μετριάσουν τους περιβαλλοντικούς κινδύνους, εφαρμόζοντας τις κατάλληλες γεωργικές πρακτικές. Η γεωργία ακριβείας οδηγεί σε σωστές αποφάσεις για την διαχείριση της καλλιέργειας που γίνονται από την απόκτηση δεδομένων σχετικά με το έδαφος και τα χαρακτηριστικά του. Συλλέγονται επίσης πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά απόδοσης του αγρού σε διαφορετικές θέσεις και τις στρατηγικές διαχείρισης, ως συνέπεια των πληροφοριών αυτών. Λαμβάνοντας υπόψη τα εν δυνάμει οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη από ορισμένες γεωργικές πρακτικές ακρίβειας, η διάδοση της γεωργίας ακριβείας είναι απολύτως δικαιολογημένη. Η διάδοση της τεχνολογίας γεωργίας ακριβείας ήταν και είναι διαδεδομένη στο εξωτερικό και ειδικότερα στις Η.Π.Α. (Jenkins, 2009). Από το 1992 επετράπη στις Η.Π.Α. η λειτουργία ιδιωτικών συστημάτων διαστημικής τηλεπισκόπησης, ενώ το 1993 πραγματοποιήθηκε στη Μινεζότα η πρώτη διεθνής συνάντηση, με θέμα τη Γεωργία Ακρίβειας ('First Workshop on Soil-specific Crop Management'). Το 1994, επίσης στις Η.Π.Α., επετράπη η ελεύθερη χρήση από τους πολίτες δορυφορικών δεδομένων με χωρική ανάλυση 1 μέτρου (Καρυδάς & Συλλαίος, 2000).

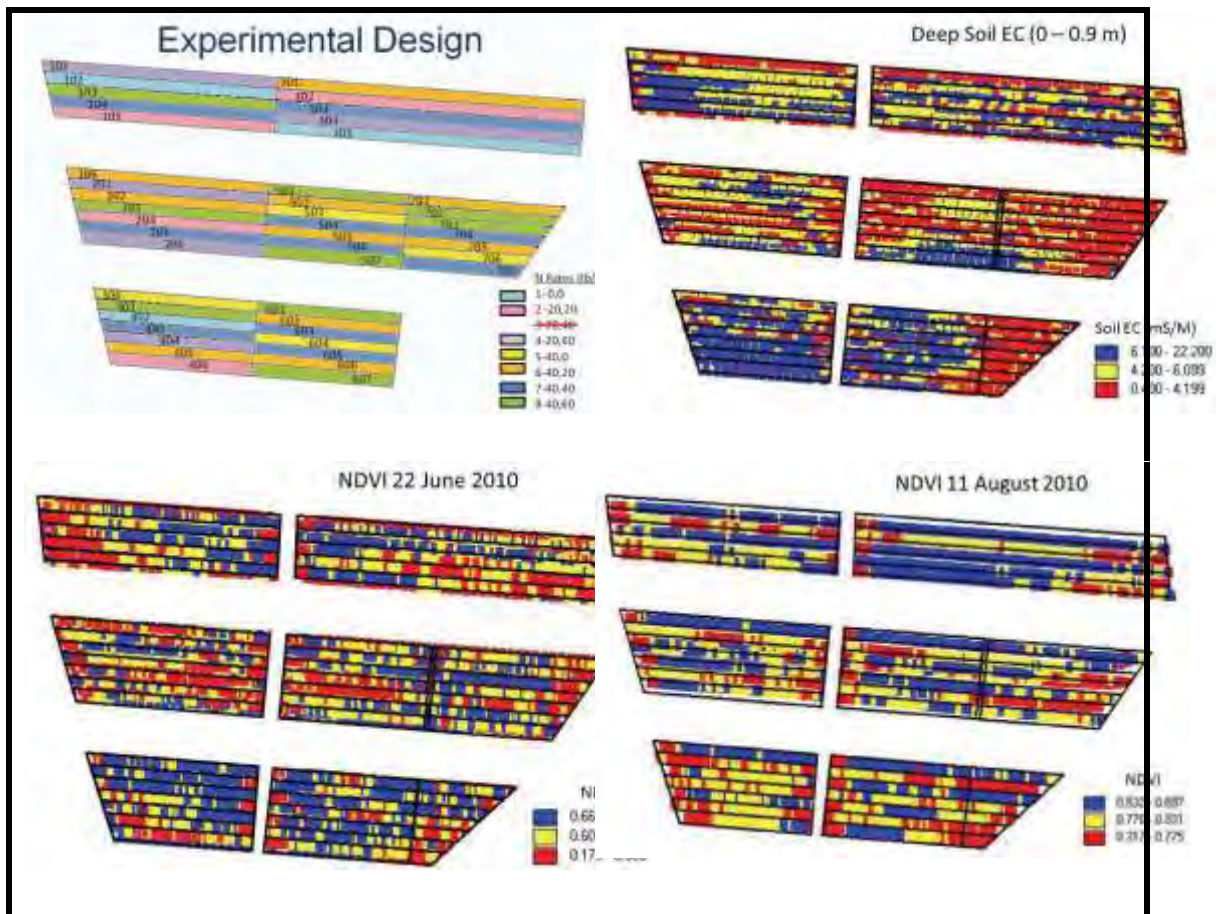
Η έρευνα των Larson et al., (2008) αξιολόγησε τους παράγοντες που επηρέασαν τους βαμβακοπαραγωγούς (*Gossypium hirsutum* L.) στις Πολιτείες Αλαμπάμα, Αρκάνσας, Φλόριντα, τη Γεωργία, Λουιζιάνα, Μισισίπι, Μισούρι, Βόρεια Καρολίνα, Νότια Καρολίνα, Τενεσί και Βιρτζίνια να κάνουν χρήση της τεχνολογίας τηλεπισκόπησης, προκειμένου να εφαρμόσουν μεταβλητές ποσότητες εισροών (λιπάσματα,

εντομοκτόνα, ζιζανιοκτόνα κλπ) στα αγροτεμάχιά τους. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της σχετικής έρευνας οι παραγωγοί νεότερης ηλικίας, οι πιο μορφωμένοι και αυτοί που είχαν μεγαλύτερα αγροκτήματα είχαν μεγαλύτερες πιθανότητες να υιοθετήσουν σύστημα τηλεπισκόπησης. Επιπλέον, οι αγρότες που χρησιμοποιούσαν φορητούς υπολογιστές και παρήγαγαν το δικό σας χάρτη με βάση τις προδιαγραφές τους, είχαν μεγαλύτερη πιθανότητα να κάνουν χρήση τηλεπισκόπησης.

Κατά τη διάρκεια του 2010 διεξήχθη έρευνα σε ένα αγρό 2,5 εκταρίων στη Georgia των ΗΠΑ με σκοπό την ποσοτικοποίηση της ανταπόκρισης του δείκτη NDVI και άλλων δεικτών βλάστησης (VI) στις βαμβακοκαλλιέργειες, σε διαφορετικούς ρυθμούς εφαρμογής αζώτου. (Vellidis, et al., 2011). Το πεδίο χωρίστηκε σε λωρίδες με τέσσερις σειρές βαμβακιού, σε 45 διαφορετικά τμήματα, με κυμαινόμενο μήκος από 45 m έως 90 m. Οι διαφορετικές εφαρμογές αζώτου ήταν συνδυασμός δύο διαφορετικών λιπασμάτων υγρού αζώτου. Η πρώτη εφαρμογή έγινε στις 24 Ιουλίου 2010, και οι ποσότητες κυμάνθηκαν μεταξύ 0, 20, ή 40 kg N/εκτάριο. Η δεύτερη εφαρμογή πραγματοποιήθηκε στις 7 Ιουλίου 2010, με κυμαινόμενες ποσότητες 0, 20, 40, ή 60 kg N/εκτάριο. Η συνολική εφαρμοζόμενη ποσότητα N κυμάνθηκε από 20 έως 120 kg/ha.

Στην εικόνα 2.8 φαίνονται τα αποτελέσματα της μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους και του δείκτη NDVI. Ο χάρτης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρουσιάζει υψηλή μεταβλητότητα τόσο σε μικρά όσο και σε μεγαλύτερα βάθη ενώ το αποτέλεσμα της παραλλακτικότητας του αγρού έδειξε να είναι εντονότερο στους χάρτες NDVI πριν από την πρώτη εφαρμογή αζώτου στις 23 Ιουνίου 2010. Ωστόσο, ακόμη και μετά την εφαρμογή των ποσοτήτων N, η εγγενής

παραλλακτικότητα του εδάφους επηρέασε την ανάπτυξη του βαμβακιού με το μέγεθος των φυτών να είναι εμφανώς διαφορετικό (Εικόνα 2.8., Χάρτης NDVI – 11^η Αυγούστου). Σε γενικές γραμμές, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υψηλές τιμές NDVI μετρήθηκαν από τα φυτά που έλαβαν υψηλά ποσοστά N.



Εικόνα 2.8: Από πάνω προς τα κάτω: Το πειραματικό τμήμα εφαρμογή μεταβλητών ποσοτήτων N, χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) και κατανομή του δείκτη βλάστησης NDVI. (Vellidis, et al., 2011)

Μία άλλη έρευνα εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας σε καλλιέργεια βαμβακιού έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2007-08, προκειμένου να αξιολογηθεί η σκοπιμότητα εφαρμογής μεταβλητών ποσοτήτων αποφυλλωτικών, ρυθμιστών ανάπτυξης των φυτών (PGRs), και αζώτου (Vellidis, 2012). Τα αποτελέσματα έδειξαν

ότι ο δείκτης βλάστησης NDVI αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη διαφοροποίηση των ζωνών διαχείρισης στην αρχή και στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου. Αντιθέτως στα μέσα της καλλιεργητικής περιόδου, ο δείκτης NDVI δε φάνηκε χρήσιμος για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης PGR. Σύμφωνα και με τα επιμέρους αποτελέσματα ο δείκτης NDVI φαίνεται να είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο για τη διαχείριση της εφαρμογής αποφυλλωτικών (defoliants) (Vellidis, et al., 2009).

Η έρευνα των Larson et al., (2008) αξιολόγησε τους παράγοντες που επηρέασαν τους βαμβακοπαραγωγούς (*Gossypium hirsutum* L.) στην Αλαμπάμα, Αρκάνσας, Φλόριντα, τη Γεωργία, Λουιζιάνα, Μισισίπι, Μισούρι, Βόρεια Καρολίνα, Νότια Καρολίνα, Τενεσί και Βιρτζίνια να κάνουν χρήση της τεχνολογίας τηλεπισκόπησης, προκειμένου να εφαρμόσουν μεταβλητές ποσότητες εισροών (λιπάσματα, εντομοκτόνα, ζιζανιοκτόνα κλπ) στα αγροτεμάχιά τους. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας οι παραγωγοί νεότερης ηλικίας, οι πιο μορφωμένοι και αυτοί που είχαν μεγαλύτερα αγροκτήματα είχαν μεγαλύτερες πιθανότητες να υιοθετήσουν σύστημα τηλεπισκόπησης. Επιπλέον, οι αγρότες που χρησιμοποιούσαν φορητούς υπολογιστές και παρήγαγαν το δικό σας χάρτη με βάση τις προδιαγραφές τους, είχαν μεγαλύτερη πιθανότητα να κάνουν χρήση τηλεπισκόπησης.

Οι Mooney et al., (2010) σχολιάζουν τα αποτελέσματα έρευνας σε καλλιέργειες βαμβακιού σε 12 πολιτείες του Νότου των ΗΠΑ (Αλαμπάμα, Αρκάνσας, Φλόριντα, Γεωργία, Λουιζιάνα, Μισισίπι, Μισούρι, Βόρεια Καρολίνα, Νότια Καρολίνα, Τενεσί, Τέξας και Βιρτζίνια) που πραγματοποιήθηκαν το έτος 2009. Οι παραγωγοί των 12 πολιτειών ρωτήθηκαν σχετικά με τη στάση τους απέναντι στη τεχνολογία της γεωργίας ακριβείας. Το 63% του συνόλου των ερωτηθέντων

απάντησε ότι είχε υιοθετήσει τη γεωργία ακριβείας, αναφέροντας ότι είχαν χρησιμοποιήσει τη τεχνολογία συλλογής πληροφοριών, τη διαχείριση των καλλιεργειών με μεταβαλλόμενο ρυθμό εφαρμογής εισροών και τη τεχνολογία του GPS. Οι δύο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μέθοδοι συλλογής πληροφοριών ήταν οι μέθοδοι της δειγματοληψίας εδάφους με τη μέθοδο πλέγματος και ζωνοποίησης του αγρού (46 % των ερωτηθέντων). Η απόδοση των καλλιεργειών με χρήση GPS, εδαφολογικών χαρτών και αεροφωτογραφιών ήταν οι αμέσως επόμενες πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες συλλογής πληροφοριών (15 % έως 20 % των ερωτηθέντων). Λιγότερο χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες ήταν η παρακολούθηση της απόδοσης χωρίς GPS, η χρήση δορυφορικών εικόνων, φορητού GPS / PDA, η μέθοδος χαρτογράφησης των φυτών και η ψηφιακή χαρτογράφηση (λιγότερο από 10 % των ερωτηθέντων). Η τεχνολογία παρακολούθησης της απόδοσης με τη χρήση ενσωματωμένης οθόνης GPS ήταν η τεχνολογία που χρησιμοποιείται πιο συχνά για την εφαρμογή μεταβλητών ποσοτήτων λιπασμάτων και ασβεστίου. Οι οπτικοί ανιχνευτές GreenSeeker και οι δορυφορικές εικόνες χρησιμοποιούνταν πιο συχνά για ρυθμιστές ανάπτυξης και σε αποφάσεις ενίσχυσης της συγκομιδής. Από τους παραγωγούς με εφαρμογή μεταβλητών ποσοτήτων λιπάσματος, το 36% το χρησιμοποιεί για να εφαρμόσει N, το 73% για P, και το 76% για K. Σχεδόν οι μισοί από τους ερωτηθέντες (47 %) δήλωσαν ότι έχουν υιοθετήσει σύστημα GPS. Από τους παραγωγούς που κάνουν χρήση της τεχνολογίας GPS, το ένα τρίτο χρησιμοποιεί τεχνολογία GPS autosteer, ενώ το ένα τέταρτο χρησιμοποιείται τεχνολογία GPS Lightbar. Πάνω από το μισό των παραγωγών, χρησιμοποιούν τα συστήματα καθοδήγησης ταυτόχρονα με το ψεκασμό (79%), τη φύτευση (63%) και το όργωμα (59%). Ένας από τους κύριους λόγους που υιοθέτησαν σύστημα GPS

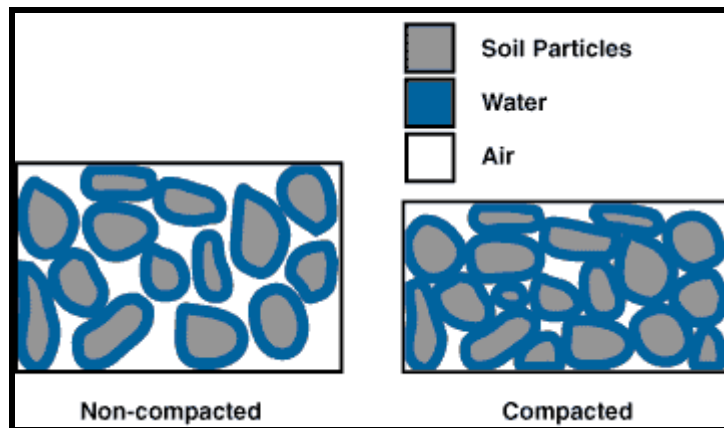
ήταν για να βελτιώσουν τη συνολική αποδοτικότητα των εισροών και για τη μείωση του πλεονάσματος εισροών (88 %). Τέλος εννέα στους δέκα παραγωγούς που είχαν υιοθετήσει τη γεωργία ακριβείας πίστευαν ότι θα είναι κερδοφόρα στο μέλλον. Το 60% από τους παραγωγούς που δεν είχαν υιοθετήσει τη γεωργία ακριβείας συμφώνησαν ότι οι τεχνολογίες της γεωργίας ακριβείας θα είναι κερδοφόρες στο μέλλον για τις βαμβακοκαλλιέργειες τις Νότιες ΗΠΑ. Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα των ερευνών των Velandia, et al., 2009 και Velandia, et al., 2010.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1. Συμπίεση εδάφους

Τα καλλιεργούμενα εδάφη υπόκεινται σε συμπίεση κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου . Η συμπίεση του εδάφους προέρχεται τόσο από το βάρος των μηχανημάτων όσο και από τις ίδιες τις καλλιεργητικές δραστηριότητες οι οποίες έχουν γίνει πιο εντατικές, εξαιτίας της μείωσης του αγροτικού πληθυσμού, αλλά και της αύξησης της εφαρμογής των πυκνών γραμμικών καλλιεργειών. Συνεπώς η αναπόφευκτη αύξηση του ασκούμενου βάρους και της κινητικότητας επάνω στα καλλιεργήσιμα εδάφη, έχει οδηγήσει σε μεγαλύτερα ασκούμενα φορτία που μεταφέρονται βαθύτερα, ανάλογα με τις ιδιότητες του εδάφους. Έτσι ο κίνδυνος πρόκλησης συμπίεσης στο έδαφος είναι σημαντικός με σημαντικές αρνητικές συνέπειες στο πορώδες και την διηθητικότητα του νερού (Χαλβατζής & Καλαβρουζιώτης, 2009).

Ο όρος συμπίεση εδαφών αναφέρεται στην κατάσταση κατά την οποία ελαττώνεται ο όγκος του εδάφους ύστερα από πίεση που εξασκείται σε αυτό. Η συμπίεση του εδάφους είναι ένας από τους παράγοντες που μειώνουν τη γονιμότητα του εδάφους (Λέλλης, κ.α., 2000). Η συμπίεση του εδάφους συμβαίνει όταν τα σωματίδια του εδάφους πιέζονται, μειώνοντας το χώρο των πόρων μεταξύ τους (Σχήμα 3.1). (University of Minnesota, 2001).



Σχήμα 3.1: Συμπίεση του εδάφους, University of Minnesota,, 2001.

Η συμπίεση του εδάφους προκαλείται από την επαναλαμβανόμενη και αθροιστική επίδραση των κινήσεων βαρέων μηχανημάτων ή σε μικρότερη έκταση από τη διέλευση υπερβολικού αριθμού αγροτικών ζώων σε εδάφη με υψηλή εδαφική υγρασία. Ωστόσο, το φαινόμενο δεν περιορίζεται στη γεωργική γη, αλλά επεκτείνεται στα εδάφη των οικισμών και των περιοχών έντονης υπαίθριας ψυχαγωγίας (Ζαλίδης, 1999).

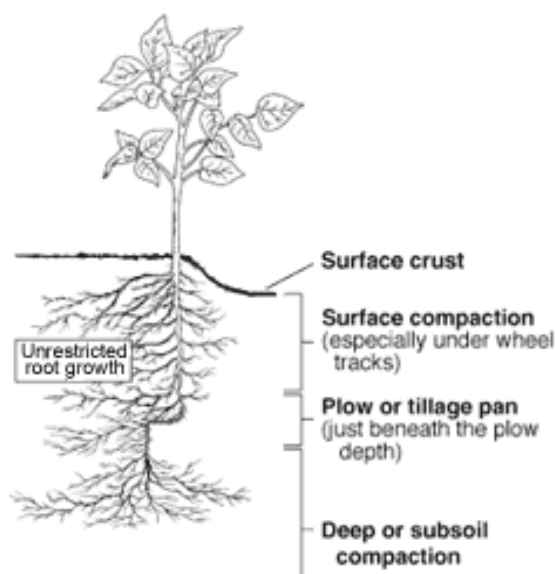
3.2. Αίτια συμπίεσης εδάφους

Τα αίτια που προκαλούν συμπίεση σε ένα έδαφος διακρίνονται σε φυσικά και ανθρώπινα. Το κύριο φυσικό αίτιο είναι οι σταγόνες της βροχής που κτυπούν το χαλαρό έδαφος και προκαλούν τη δημιουργία κρούστας στην επιφάνεια του εδάφους, φαινόμενο που ταυτίζεται με επιφανειακή συμπίεση και εμποδίζει την ανάδυση (φύτρωμα) των φυταρίων. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται χρησιμοποιώντας περιστροφικά σκαλιστήρια για καταστροφή της επιφανειακής κρούστας που έχει δημιουργηθεί από τη συμπίεση (Παπασταύρου, 2013).

Οι αιτίες που σχετίζονται με τις ανθρώπινες δραστηριότητες του παραγωγού είναι περισσότεροι και οφείλονται κυρίως στην ανεπαρκή

γνώση του για το έδαφος και τις ιδιότητές του. Μερικά από τα ανθρωπογενή αίτια που δημιουργούν συμπίεση στο έδαφος είναι (Παπασταύρου, 2013). (Σχήμα 3.2):

- Συνεχείς και έντονες αρόσεις, στο ίδιο βάθος, οδηγούν σε συμπίεση κάτω από το βάθος οργώματος.
- Τα μηχανήματα βαρέως τύπου ενοχοποιούνται στο μεγαλύτερο βαθμό για τη συμπίεση των γεωργικών εδαφών. Οι επιπτώσεις είναι περισσότερο αρνητικές όταν τα περάσματα πραγματοποιούνται σε υγρό έδαφος.
- Η απουσία συστήματος αμειψισποράς έχει ως αποτέλεσμα την έλλειψη εναλλαγών διαφόρων τύπων ριζικού συστήματος, που θα μπορούσαν να «σπάσουν» τη συμπιεσμένη εδαφική στοιβάδα.



Σχήμα 3.2: Μειωμένη ανάπτυξη των ριζών, λόγω συμπίεσης, University of Minnesota, 2001.

Η συμπίεση εμφανίζεται σε επιφανειακά ή σε βαθύτερα εδαφικά στρώματα. Στα ανώτερα στρώματα είναι συνήθως αποτέλεσμα της

προετοιμασίας της σποροκλίνης και της εφαρμογής λιπασμάτων και γεωργικών φαρμάκων. Η συμπίεση του υπεδάφους προέρχεται από τη διέλευση των μηχανημάτων συγκομιδής καθώς και βαρέων μηχανημάτων από τα ίδια σημεία με αποτέλεσμα τη δημιουργία αδιαπέραστου στρώματος. Η συμπίεση του εδάφους είναι μεγάλη δυνητική απειλή για τη γεωργική παραγωγικότητα (Ζαλίδης, 1999).

3.3. Προβλήματα που δημιουργεί η συμπίεση του εδάφους

Η συμπίεση των εδαφών αποτελεί παγκόσμιο και σοβαρό πρόβλημα και έχει ερευνηθεί από πλήθος επιστημόνων κατά τις τελευταίες δεκαετίες (Lesturgez, et al., 2004).

Η συμπίεση επηρεάζει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος με πολλούς τρόπους. Ένα από τα προβλήματα που δημιουργεί η συμπίεση του εδάφους είναι η μικρότερη ανάπτυξη των ριζικών τριχιδίων στα συμπιεσμένα εδάφη σε σχέση με τα μη-συμπιεσμένα. Η μεγάλη μηχανική παρεμπόδιση της διείσδυσης των ριζών και ο μειωμένος αερισμός στα συμπυκνωμένα εδάφη περιορίζει τόσο το μήκος, όσο και τη λειτουργία του ριζικού συστήματος (Iijima and Kono 1991; Iijima et al., 1991; Grzesiak et al., 2002). Πολλές έρευνες έχουν δείξει ότι η συμπίεση του εδάφους προκαλεί μείωση του αριθμού και του μήκους των ριζών, περιορισμό στην προς τα κάτω διείσδυση του ριζικού συστήματος από τους κύριους άξονες της ρίζας, μείωση του πάχους των φύλλων και μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών (Scholefield & Hall, 1985; Fageria 2006 et al., 2006). Αρκετά πειραματικά αποτελέσματα που αναφέρονται στο άρθρο του Tardieu (1994) δείχνουν ότι οι ρίζες είναι αισθητήρες των τοπικών φυσικών συνθηκών του εδάφους. Στην περίπτωση οποιασδήποτε διαταραχής, το ποσοστό επιμήκυνσης της ρίζας θα επιβραδυνθεί και το μήκος της ζώνης επιμήκυνσης θα μειωθεί.

Η μείωση του αερισμού του εδάφους ως αποτέλεσμα της συμπίεσης, μπορεί να επηρεάσει τις χημικές και φυσιολογικές διεργασίες του εδάφους και ως εκ τούτου να έχει αρνητικό αντίκτυπο στη θρέψη των φυτών. Όταν η συμπίεση μειώνει την παροχή O_2 στο έδαφος, μειώνεται μια σημαντική χημική ιδιότητα του εδάφους, που ονομάζεται δυναμικό οξειδοαναγωγής (Vidrih & Hopkins, 1996).

Επιπρόσθετα η συμπίεση μπορεί να προκαλέσει δυσμενείς μεταβολές στην πυκνότητα του εδάφους και το πορώδες του με αποτέλεσμα τη δυσκολία στη κίνηση του νερού προς βαθύτερα εδαφικά στρώματα, εξαιτίας της μείωσης των εδαφικών πόρων. Η έρευνα των Ishaq, et al., (2001), που πραγματοποιήθηκε στο Πακιστάν, αναφέρει ότι σε συμπιεσμένα εδάφη, η πυκνότητα εδάφους έφτανε το $1,93 \text{ g/cm}^3$ και μειώθηκε η απόδοση σε σιτάρι κατά 12-38%. Αντίστοιχη μελέτη των Gameda, et al. (1994), σε καλλιέργεια αραβόσιτου έδειξε ότι σε υψηλά επίπεδα συμπίεσης του εδάφους η απόδοση μπορεί να μειωθεί έως και 70%.

Η συμπίεση του εδάφους προκαλεί αύξηση της ξηρής φαινομενικής πυκνότητας (Harris, 1971) και μείωση του πορώδους και του αερισμού του εδάφους (Raper, et al., 2006). Το γεγονός αυτό είναι δυνατό να προκληθεί από τη διέλευση βαριών μηχανημάτων όπως αναφέρθηκε παραπάνω, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους, δημιουργία μηχανικής αντίστασης στην ανάπτυξη των ριζών και δημιουργία αναερόβιων συνθηκών.

3.4. Προβλήματα της συμπίεσης του εδάφους στις βαμβακοκαλλιέργειες

Η εκμηχάνιση της καλλιέργειας βαμβακιού και η αλόγιστη χρήση μηχανημάτων σε συνδυασμό με την μονοκαλλιέργεια του βαμβακιού οδήγησε σε υπερβολική συμπίεση του εδάφους. Η συμπίεση καθορίζει τον όγκο και κυρίως την αναλογία των διαφόρων κατηγοριών πόρων ενός εδάφους. Η μείωση του πορώδους, δημιουργεί προβλήματα στον αερισμό, στην κίνηση του νερού, στην ανάπτυξη των ριζών, στη θέρμανση του εδάφους καθώς και στην βλάστηση των σπόρων. Επίσης η μικρή διηθητικότητα αυξάνει την απορροή του νερού και τη διάβρωση και μειώνει τη δραστηριότητα έμβιων οργανισμών καθώς επίσης και τις στρεμματικές αποδόσεις (Λέλλης, κ.α., 2000).

Η συμπίεση του εδάφους προκαλεί προβλήματα στις καλλιέργειες, εμποδίζοντας την ανάπτυξη των ριζών και την ανάπτυξη των φυτών. Το συμπιεσμένο έδαφος έχει μικρότερους πόρους και λιγότερα φυσικά κανάλια και ως εκ τούτου η διήθηση του νερού μειώνεται δραστικά. Προκαλεί αύξηση της υγρασίας της επιφάνειας, αυξημένη απορροή και διάβρωση, και μεγαλύτερο χρόνο στεγνώματος. Το ριζικό σύστημα συναντά μεγαλύτερη αντίσταση στην ανάπτυξη του σε συμπιεσμένα εδάφη, δεδομένου ότι με τη συμπίεση μειώνεται ο αερισμός του εδάφους με συνέπεια τη παραμόρφωση των ριζών και παρεπόμενο τον περιορισμό στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Η ανάπτυξη των φυτών εξαρτάται από το ριζικό σύστημα, τα διαθέσιμα θρεπτικά συστατικά και την πρόσβαση του ριζικού συστήματος σε αυτά, τον αερισμό του εδάφους και την υγρασία διαθέσιμη υγρασία του εδάφους (Kulkarni, 2003).

Μελέτη που έγινε από τους Ishaq, et al., (2003), αναφέρει τα αποτελέσματα της συμπίεσης του εδάφους, σε βάθος μεγαλύτερο από 15 cm, όσον αφορά στην απόδοση και στην πρόσληψη θρεπτικών συστατικών των αρδευόμενων καλλιεργειών σιταριού (*Triticum aestivum*) και βαμβακιού (*Gossipium hirsutum*). Η μελέτη ξεκίνησε το 1997 αμμώδη και αργιλοπηλώδη εδάφη σε ημίξηρες περιοχή του Πακιστάν. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι αρνητικές επιπτώσεις της συμπίεσης του εδάφους στην πυκνότητα, στην αντίσταση διείσδυσης, στο ολικό πορώδες και στον αερισμό του εδάφους συνεχίστηκε για τουλάχιστον τέσσερα χρόνια. Κατά την τρίτη και τέταρτη χρονιά η συμπίεση προκάλεσε μείωση των αποδόσεων της καλλιέργειας σιταριού κατά 12-18% και 7% για το βαμβάκι. Οι αντίστοιχες μειώσεις στην πρόσληψη θρεπτικών συστατικών από το σιτάρι ήταν 11-16 % για το N , 11-15 % για το P και 5-10 % για το K. Για το βαμβάκι , οι τιμές ήταν 9 % για το N, 3 % για την P και 7 % για την K. Η συμπίεση του εδάφους μείωσε την ικανότητα λήψης θρεπτικών συστατικών κατά 16 % στο σιτάρι και 5 % στο βαμβάκι. Η μείωση της ικανότητας λήψης νερού υπολογίστηκε ότι ήταν 11 % στο σιτάρι και 7 % στο βαμβάκι. Επίσης μειώθηκε το μήκος του ριζικού συστήματος του σιταριού.

Σε μελέτη των Gemtos & Lellis (1997), μελετήθηκαν οι επιδράσεις της συμπίεσης στο φύτρωμα και την αρχική ανάπτυξη των φυτών βαμβακιού και ζαχαρότευτλων σε πειράματα σε μικρά δοχεία που έγινε σε θερμοκήπιο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα ζαχαρότευτλα είναι πιο ευαίσθητα στη συμπίεση σε σχέση με το βαμβάκι αλλά ότι και οι δύο καλλιέργειες επιβαρύνονται αρνητικά από τη συμπίεση του εδάφους.

3.5. Λύσεις στα προβλήματα Συμπίεσης

Με την ετήσια κατεργασία του εδάφους επιδιώκεται μια πρόσκαιρη ανακούφιση της συμπίεσης έτσι ώστε να μειωθεί η συνεκτικότητα και να δημιουργηθεί ένα προσωρινά ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Η προσέγγιση αυτή όμως δεν μπορεί να δώσει λύση στο μακροχρόνιο πρόβλημα της αυξημένης συμπίεσης που εμφανίζεται κάτω από το βάθος κατεργασίας. Για την αντιμετώπιση της βαθιάς συμπίεσης καθώς και για μια σειρά από άλλα σημαντικά οφέλη που σχετίζονται με την προστασία του εδάφους και την διατήρηση της γονιμότητάς του, προτείνεται η εφαρμογή μεθόδων μειωμένης κατεργασίας ή ακαλλιέργειας γνωστά και ως συστήματα αειφορικής γεωργίας. Στα συστήματα αυτά οι απαιτήσεις ισχύος για την προετοιμασία των αγρών είναι περιορισμένες με αποτέλεσμα να χρειάζονται μικρότεροι και ελαφρύτεροι ελκυστήρες για την περαίωση των εργασιών οι οποίοι φυσικά προκαλούν μικρότερη συμπίεση. Επιπλέον το έδαφος αποκτά σταθερότερη δομή με συνέπεια να αντέχει σε μεγαλύτερα φορτία. (Καβαλάρης, κ.α., 2013).

Στα συστήματα αειφορικής γεωργίας προτείνονται μικρότεροι και ελαφρύτεροι ελκυστήρες για την προετοιμασία των αγρών οι οποίοι φυσικά προκαλούν μικρότερη συμπίεση (Raper and Kirby, 2006).

Σύμφωνα με τον DeJong - Hughes (2009), λύσεις για τη μείωση της συμπίεσης του εδάφους μπορεί να αποτελέσουν: η ελεγχόμενη κυκλοφορία των βαρέων οχημάτων και ο έλεγχος του φορτίου και της πίεσης των ελαστικών.

Σε ένα μακροχρόνιο πείραμα σύγκρισης πέντε διαφορετικών μεθόδων κατεργασίας του εδάφους τριών μεθόδων μειωμένης κατεργασίας του

εδάφους, μιας ακαλλιέργειας, και μιας συμβατικής, μελετήθηκαν οι αποδόσεις σε καλλιέργεια Ηλίανθου. Οι μέθοδοι αυτές είναι (Καβαλάρης, κ.α., 2013):

1) Συμβατική κατεργασία (Σ). Όργωμα σε βάθος περίπου 25-30 cm και προετοιμασία της σποροκλίνης με αλληπάλληλα περάσματα με δισκοσβάρνα και ελαφρύ καλλιεργητή ανάλογα με τις συνθήκες.

2) Μειωμένη κατεργασία με βαρύ καλλιεργητή (BK). Πρωτογενής κατεργασία με ένα βαρύ καλλιεργητή στα 20 cm περίπου και προετοιμασία της σποροκλίνης όπως στη συμβατική.

3) Μειωμένη κατεργασία με περιστροφικό καλλιεργητή (ΠΚ). Χρησιμοποιείται ένας περιστροφικός καλλιεργητής με κατακόρυφα ελάσματα για προετοιμασία του εδάφους με ένα μόνο πέρασμα. Το βάθος κατεργασίας κυμαίνεται στα 12-15 cm.

4) Μειωμένη κατεργασία με δισκοσβάρνα (Δ). Αβαθής κατεργασία του εδάφους μέχρι τα 8 cm περίπου με δύο ή και περισσότερα περάσματα αποκλειστικά με δισκοσβάρνα

5) Ακαλλιέργεια. Γίνονταν απευθείας σπορά χωρίς καμία προετοιμασία του εδάφους, ενώ τα ζιζάνια όταν κρίνεται απαραίτητο καταστρέφονται με glyphosate.

Κατά τη διάρκεια του πειράματος έγινε κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης μιας καλλιέργειας ηλίανθου συστηματική καταγραφή σε τακτά χρονικά διαστήματα της αντίστασης του εδάφους στην διείδυση. Παράλληλα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους και μετρήθηκε το μήκος της κεντρικής ρίζας του ηλίανθου.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι για τα πρώτα 15 περίπου εκατοστά υπήρχε αυξημένη αντίσταση του εδάφους στην διείσδυση σε δύο από τις τρεις μεθόδους μειωμένης κατεργασίας, και ιδίως στην ακαλλιέργεια. Σε μεγαλύτερο βάθος ωστόσο η ακαλλιέργεια παρουσίασε καλύτερη συμπεριφορά. Με παρεμβολή των στοιχείων διαπιστώθηκε ότι στην ακαλλιέργεια το έδαφος σε βάθος μέχρι 15cm, για περισσότερες από τις μισές ημέρες, παρουσίαζε αντίσταση στην διείσδυση μεγαλύτερη από 2500kPa, όριο στο οποίο θεωρείται ότι αναστέλλεται η ανάπτυξη της ρίζας. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώθηκε και από τις μετρήσεις του μήκους του ριζικού συστήματος. Στην ακαλλιέργεια οι κεντρικές ρίζες ήταν πιο κοντές. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους η οποία σχετίζεται άμεσα με την υγρασία αυτού, παρουσίασε αρνητική συσχέτιση με την αντίσταση στη διείσδυση. Φαίνεται ότι για τις ξηροθερμικές συνθήκες της Μεσογείου, η αυξημένη συνεκτικότητα του ακαλλιέργητου εδάφους επιδεινώνεται από τις συνθήκες χαμηλής υγρασίας με αποτέλεσμα να προκαλείται μια ανάσχεση της ανάπτυξης του ριζικού συστήματος των καλλιεργειών η οποία εν τέλει ευθύνεται για τη μείωση των αποδόσεων (Καβαλάρης, κ.α , 2013).

3.6. Προβλήματα Συμπίεσης Εδαφών στην Ευρώπη

Η υποβάθμιση της δομής του εδάφους λόγω συμπίεσης περιορίζει τη δυνατότητα ανάπτυξης των ριζών, την αποθηκευτική ικανότητα ως προς το νερό, τη γονιμότητα, τις βιολογικές δραστηριότητες και τη σταθερότητα. Επιπλέον, όταν σημειώνονται έντονες βροχοπτώσεις δυσχεραίνεται η διήθηση του νερού στο έδαφος. Οι μεγάλες ποσότητες μη απορροφημένου νερού, απορρέουν επιφανειακά και επιτείνουν τον κίνδυνο διάβρωσης και θεωρούνται από ορισμένους εμπειρογνώμονες ως

ένα από τα αίτια ορισμένων προσφάτων πλημμυρών στην Ευρώπη (COM (2006) 232).

Όλα τα γεωργικά εδάφη στις ανεπτυγμένες χώρες εμφανίζουν κάποιο βαθμό συμπίεσης του υπεδάφους. Εκτιμήσεις του 1991 δείχνουν ότι η υποβάθμιση των περιοχών οφείλεται στην συμπίεση του εδάφους στην Ευρώπη και μπορεί να ισούται ή να υπερβαίνει τα 33 εκατομμύρια εκτάρια (ha). Πρόσφατη έρευνα έδειξε ότι η συμπίεση είναι το πιο διαδεδομένο είδος του φυσικής υποβάθμισης του εδάφους στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη. Περίπου 25 εκατομμύρια εκτάρια κρίθηκαν ότι είναι ελαφρώς συμπιεσμένα, ενώ 36 εκατομμύρια επιπλέον εκτάρια έχουν επηρεαστεί από τη συμπίεση σε πολύ μεγάλο. (Beata, 2012).

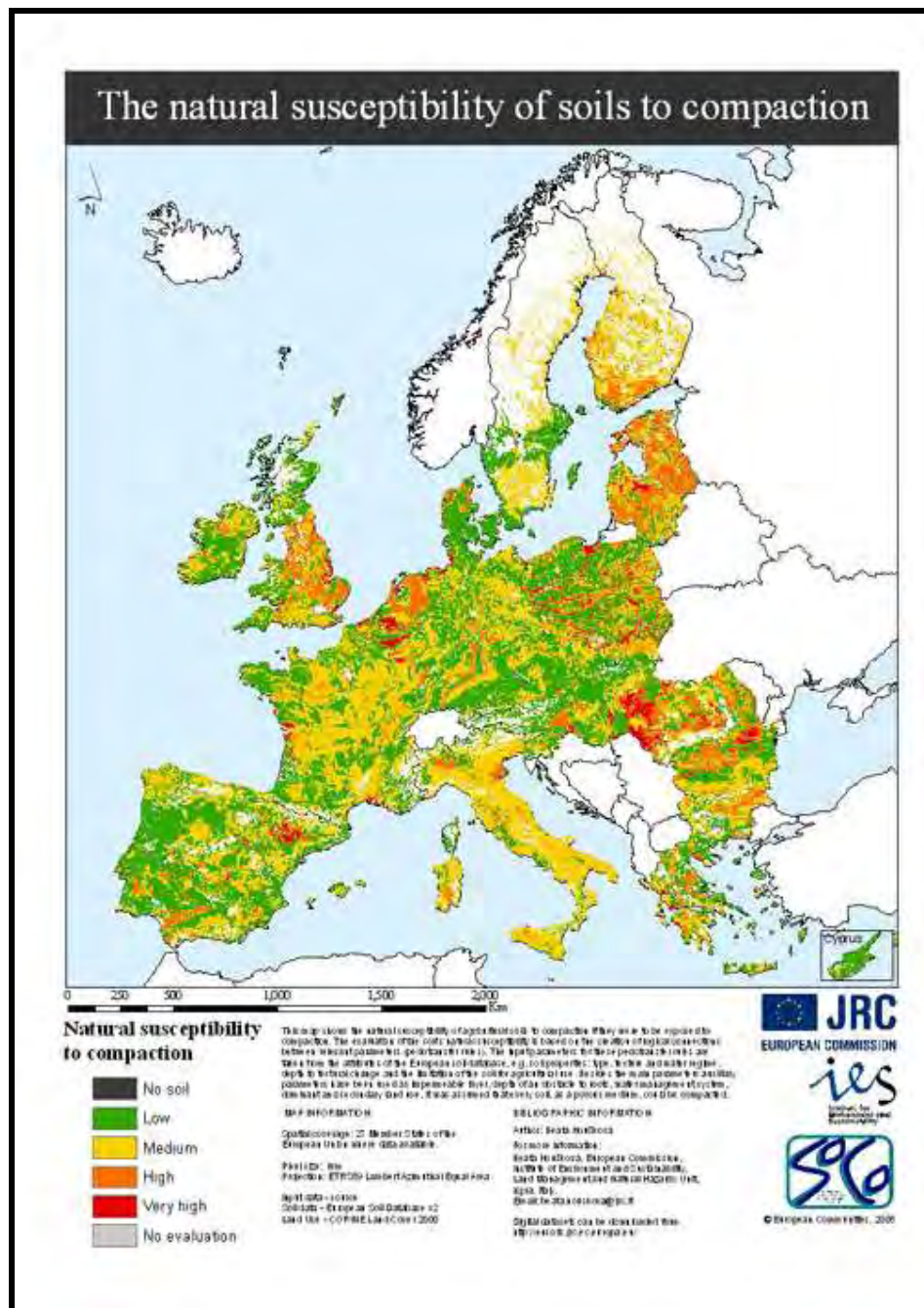
Εδάφη με καλή δομή συνδυάζουν καλές φυσικές ιδιότητες του εδάφους με υψηλή αντοχή στη συμπίεση. Οι ρίζες έχουν απορροφητική δράση και αυξάνουν την ελαστικότητα και την αντοχή του εδάφους στη συμπίκνωση. Επίσης σημαντικός παράγοντας είναι και η υγρασία του εδάφους, η οποία παίζει καθοριστικό ρόλο στην συμπίεση του εδάφους. Τα ξηρά εδάφη έχουν μικρή συμπιεστότητα. Ωστόσο τα πολύ ξηρά αμμώδη εδάφη μπορεί να παραμορφωθούν με αποτέλεσμα να συμπιέζονται πιο εύκολα. Η αύξηση του ποσοστού υγρασίας οδηγεί σε αύξηση τη συμπιεστότητας δεδομένου ότι το νερό γεμίζει όλο και περισσότερο το κενό των πόρων του εδάφους. Τέλος η αύξηση της περιεκτικότητας σε οργανική ύλη τείνει να μειώνει την ικανότητα συμπίεσης του εδάφους και την αύξηση της ελαστικότητας του (Beata, 2012).

Οι υποβαθμισμένες περιοχές από τη συμπίκνωση του εδάφους αυξάνονται λόγω της άσκησης μεγάλων φορτίων από τα γεωργικά μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στο τομέα της γεωργίας και που

συνεχώς αυξάνονται. Το αποτέλεσμα είναι ότι το έδαφος συμπιέζεται σε όλο και μεγαλύτερα βάθη. Είναι σχεδόν αδύνατο να αποφευχθεί η συμπίεση του εδάφους. Από την άλλη πλευρά, το όργωμα και οι φυσικές διεργασίες αποτελούν επίσης πρακτικές λύσεις για τη μείωση της συμπίεσης του εδάφους. Η συμπίεση του υπεδάφους θα πρέπει να εμποδίζεται γιατί είναι πολύ δύσκολη έως αδύνατη η αποκατάσταση του καθώς τα εργαλεία κατεργασίας δεν φτάνουν σε αυτά τα βάθη ενώ οι θερμοκρασίες δεν κατεβαίνουν σε επίπεδο να δημιουργηθεί πάγος που θα μπορούσε να χαλαρώσει το έδαφος. Η συμπίεση του υπεδάφους κατά το όργωμα μπορεί να προληφθεί με τη χρήση βελτιωμένων συστημάτων διεύθυνσης και να προσαρμοστούν άροτρα που να επιτρέπουν στον ελκυστήρα να κινείται με όλους τους τροχούς στην ακαλλιέργητη γη. Είναι επίσης δυνατόν να επικεντρωθούν σε μόνιμες λωρίδες κυκλοφορίας και να περιορίζουν την συμπίεση. Με τη χρήση επίσης ειδικών ελκυστήρων μεγάλου εύρους τροχών μπορεί επίσης να περιοριστεί η συμπίεση. Ωστόσο, οι λύσεις αυτές χρησιμοποιούνται σπάνια, λόγω των βραχυπρόθεσμων οικονομικών περιορισμών, την έλλειψη ευαισθητοποίησης, και της αμέλειας εξαιτίας του ότι η ζημιά στο υπέδαφος δεν είναι άμεσα ορατή. Επίσης, η περιορισμένη γνώση σχετικά με την αρνητική επιρροή που έχει η συμπίεση στο έδαφος καθιστά την πρόληψη της συμπίεσης του εδάφους δύσκολη (Jont Research Center, 2012).

Σύμφωνα με το παρακάτω χάρτη 3.1., η Ευρώπη είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στη συμπίεση τους εδάφους, με βάση τις ιδιότητες του εδάφους και μόνο. Τα σημεία με τις κόκκινες περιοχές αντιστοιχούν σε τυρφώδη εδάφη που δεν έχουν υποβληθεί σε "κανονικές" γεωργικές πρακτικές. Ωστόσο, αξίζει να συμπεριληφθούν τα χέρσα εδάφη τύρφης και τα δάση της Ευρώπης, δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται συχνά για τη

δασοκομία και μπορεί να συμπίεζεται από τα βαριά μηχανήματα συγκομιδής ξυλείας (JRC 2012).



Χάρτης 3.1: Κατάσταση Συμπίεσης του Εδάφους στην Ευρώπη,
<http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/compaction/Data.html>

Υπολογίζεται ότι περίπου 4% του εδάφους σε όλη την Ευρώπη αντιμετωπίζει πρόβλημα συμπίεσης. Στην προσπάθεια επίτευξης του

στόχου της αειφόρου χρήσης του εδάφους η Ευρωπαϊκή Επιτροπή συνεχίζει τις εργασίες της για την ενσωμάτωση του εδάφους, στα πλαίσια της Κοινής γεωργικής πολιτικής (ΚΓΠ). Τα θέματα προστασίας του εδάφους αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της καλής γεωργικής και περιβαλλοντικής κατάστασης από το 2003, οπότε επιβλήθηκε η πολλαπλή συμμόρφωση. Δίνεται έμφαση στον περιορισμό της διάβρωσης, στη συγκράτηση και βελτίωση της οργανικής ύλης και στην αποφυγή της συμπίεσης (COM(2012) 46:FINAL).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΕΙΚΤΗΣ NDVI

4.1. NDVI (Μπαχλάβας, 2011).

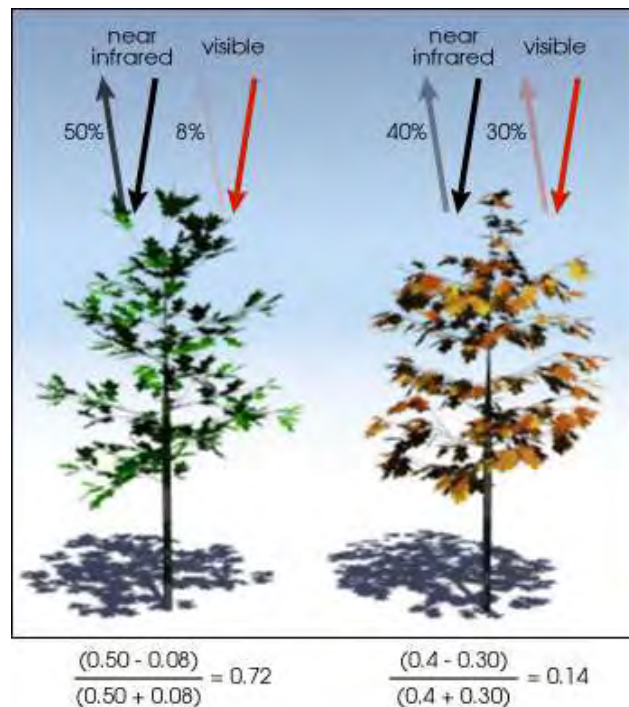
Ο Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) είναι ένας απλός αριθμητικός δείκτης, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των μετρήσεων τηλεπισκόπησης, οι οποίες προέρχονται συνήθως όχι όμως κατ' ανάγκη από δορυφόρους, για να εκτιμήσει κατά πόσο η περιοχή που παρατηρείται περιέχει ζωντανή πράσινη βλάστηση ή όχι (Εικόνα 4.1) . Ο δείκτης αυτός εκφράζεται από την σχέση:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Όπου: NIR είναι η ακτινοβολία στη φασματική περιοχή του υπέρυθρου

Όπου RED είναι η ακτινοβολία στη φασματική περιοχή του κόκκινου

Ο δείκτης NDVI στηρίζεται στην ιδιότητα των υγείων φυτών να απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία, στην φασματική περιοχή που ανήκει η φωτοσυνθετική ενεργός ακτινοβολία (Photosynthetically Active Radiation- PAR), την οποία και χρειάζονται για να χρησιμοποιήσουν ως ενέργεια για τη συντήρηση τους και τη παραγωγή και να ανακλούν τις άλλες όπως η πράσινη και η υπέρυθρη (Εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1: Παράδειγμα υπολογισμού Δείκτη NDVI.

http://www.wikiagro.com/en/File:Ndvi_example.jpg

4.2. Τι απεικονίζει και πως λειτουργεί

Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI) είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης βλάστησης. Η δημιουργία του αποδίδεται στους Rouse et al., (1973) αν και η σύλληψη της ιδέας δημιουργίας ενός τέτοιου δείκτη ανήκει στον Krigler, et al., (1969). Οι τιμές που λαμβάνει μεταβάλλονται από -1 έως $+1$ και η σχέση που τον περιγράφει είναι $NIR - R / NIR + R$. Η τιμή -1 σημαίνει πλήρη απουσία βλάστησης, ενώ η τιμή $+1$ πλήρη παρουσία υγιούς βλάστησης.

Ο δείκτης βλάστησης όπως αναφέρθηκε παίρνει τιμές από το -1 έως το 1 . Οι αρνητικές τιμές δηλώνουν θάλασσα ενώ οι τιμές θετικές και μικρότερες από $0,1$ φανερώουν γυμνό έδαφος. Μικρό NDVI δηλαδή τιμές από $0,1$ έως $0,2$ υποδηλώνουν αραιή βλάστηση επίσης, μέτριο NDVI δηλαδή με τιμές από $0,2$ έως $0,4$ έχουν περιοχές με αρκετά πυκνή

βλάστηση. Τέλος δείκτης βλάστησης μεγαλύτερος από τιμή 0,4 σημαίνει ότι στις περιοχές αυτές υπάρχει πολύ πυκνή και υγιής βλάστηση δηλαδή υψηλό NDVI. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις τρεις κατηγορίες του δείκτη NDVI, που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία για την εκτίμηση της ζωνρότητας της βλάστησης.

Πίνακας 1: Κατηγορίες δείκτη βλάστησης (NDVI)

Περιγραφή	Δείκτης NDVI (τιμές)
Μικρή Ευρωστία	0,34-0,54
Μέτρια Ευρωστία	0,54-0,74
Υψηλή Ευρωστία	>0,74

Όσον αφορά δεδομένα δορυφορικών εικόνων Landsat TM, η εύρεση του δείκτη βλάστης NDVI, υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$NDVI = (LTM4 - LTM3) / (LTM4 + LTM3),$$

όπου LTM4 και LTM3 είναι η φασματικές ακτινοβολίες στο κοντινό υπέρυθρο κανάλι (0,76 - 0,90 μm) και στο κόκκινο κανάλι (0,63 - 0,69 μm) αντίστοιχα (Γκόσιου, 2010).

Ο δείκτης NDVI χρησιμοποιείται στα μοντέλα πρόβλεψης της παραγωγής. Για την πρόβλεψη της παραγωγής χρησιμοποιούνται η μέθοδος της τηλεπισκόπησης, οι εργαστηριακές μετρήσεις συσχέτισης της φυτοκάλυψης με την απόδοση και οι χάρτες αποδόσεων των προηγούμενων καλλιεργητικών ετών. Τα μοντέλα πρόβλεψης της παραγωγής περιέχουν δείκτες βλάστησης όπως ο δείκτης NDVI, SAVI (Δείκτης Βλάστησης), LAI (Δείκτης Φυλλικής επιφάνειας) κλπ, ταυτόχρονα με άλλες παραμέτρους όπως είναι οι κλιματολογικές,

εδαφολογικές συνθήκες κ.α. Οι χάρτες αποδόσεων των προηγούμενων καλλιεργητικών ετών χρησιμεύουν, κυρίως, στην κατανομή της παραλλακτικότητας της προβλεπόμενης παραγωγής συγκρινόμενοι μεταξύ τους (Καρυδάς & Συλλαίος, 2000).

Οι Wood et al., (1998) ανέπτυξαν τεχνικές βαθμονόμησης, για τη χαρτογράφηση της διακύμανσης και της απόδοσης των καλλιεργειών με τη χρήση της τηλεπισκόπησης και του δείκτη NDVI. Οι αεροφωτογραφίες γίνονται πηγές δεδομένων για τη διαχείριση καλλιεργειών σιταριού και κριθαριού και αποδεικνύουν τη σπουδαιότητα της ψηφιακής αεροφωτογραφίας στην απόκτηση σε πραγματικό χρόνο, πληροφοριών σχετικών με την παραλλακτικότητα εντός του αγροτεμαχίου και τη δυναμική της απόδοσης.

Ο δείκτης NDVI μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη γεωργία:

- Για την ανίχνευση προβληματικών περιοχών από γεωπόνους και παραγωγούς, με αποτέλεσμα την λήψη κατάλληλων διαχειριστικών μέτρων. Ο δείκτης NDVI με βάση τους χάρτες ανίχνευσης προβληματικών περιοχών δείχνει τις μεταβολές στα χωράφια, έτσι ώστε ο παραγωγός να ξέρει σε ποιο/α σημείο/α χρειάζονται διορθωτικά ή προληπτικά μέτρα. Οι παραγωγοί μπορούν έτσι να παίρνουν ακριβώς τις θέσεις των προβληματικών περιοχών αξιολογώντας κάθε φορά τους λόγους της παραλλακτικότητας του χωραφιού.
- Για εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις: Οι χάρτες NDVI παρουσιάζουν οπτική παραλλακτικότητα της ζωνρότητας της βλάστησης μέσα σε ένα χωράφι και το διαχωρίζουν σε διαφορές ζώνες διαχείρισης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εφαρμογή

μεταβαλλόμενων ποσοτήτων εισροών όπως ρυθμιστών ανάπτυξης των φυτών, εντομοκτόνα, ζιζανιοκτόνα, μυκητοκτόνα, στις διαφορετικές ζώνες που δημιουργούνται από τους χάρτες NDVI.

- Για την παρακολούθηση των καλλιεργειών: Μια άλλη προσέγγιση της χρήσης των χαρτών του δείκτη NDVI είναι η επιτόπια παρακολούθηση. Αυτό περιλαμβάνει την επεξεργασία όλων των κατάλληλων εικόνων (χωρίς νεφοκάλυψη) κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου και την ανίχνευση πιθανών ανωμαλιών κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου.
- Εκτίμηση της Απόδοσης των Καλλιεργειών: Έρευνα των Teal et al., (2006), απέδειξε ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης και του δείκτη βλάστησης σε ορισμένα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας καλαμποκιού. Οι μετρήσεις του κανονικοποιημένου δείκτη NDVI στα διάφορα στάδια ανάπτυξης έδειξαν ότι το ίδιο το στάδιο ανάπτυξης ήταν κρίσιμο για την πρόβλεψη της πιθανής απόδοσης σιτηρών (κακή συσχέτιση μεταξύ NDVI και σταδίου V6-V7 ενώ ισχυρή συσχέτιση βρέθηκε στο στάδιο V8). Συμπέρασμα της μελέτης αυτής ήταν ότι η δυνητική απόδοση της καλλιέργειας καλαμποκιού θα μπορούσε να προβλεφθεί με ακρίβεια με τη χρήση του δείκτη NDVI.

4.3. Μελέτες δείκτη NDVI σε βαμβάκοκαλλιέργειες

Η εφαρμογή κυμαινόμενων ποσοτήτων εισροών (π.χ. αζωτούχων λιπασμάτων) σε βαμβάκι μπορεί να υλοποιηθεί με τη χρήση διαφόρων τεχνικών. Η χρήση αισθητήρων είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος για τη δημιουργία χαρτών απόδοσης καλλιέργειας, οι οποίοι οριοθετούν το χάρτη σε ζώνες διαχείρισης με παρόμοιες εδαφικές ιδιότητες, παρόμοιες

περιεκτικότητες σε οργανική ουσία, παρόμοιες ανάγκες για νερό εφαρμόζοντας στη συνέχεια μεταβλητές ποσότητες εισροών για την εκάστοτε ζώνη διαχείρισης. Οι χάρτες απόδοσης δημιουργούνται συνήθως από πολυφασματικές εικόνες που έχουν ληφθεί από κάμερες εναέρια ή δορυφορικά ή επίγεια όπου προσαρμόζονται οι αισθητήρες καταγραφής. Η τεχνική βασίζεται στη χρήση δεικτών βλάστησης (VIS - vegetation indices) για την ποσοτικοποίηση της βιομάζας (Vellidis, et al., 2009). Αρκετές μελέτες έχουν δείξει πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ NDVI και της φυτικής βιομάζας και συχνά οι επαγγελματίες αναφέρονται στο δείκτη NDVI ως μέτρο της βιομάζας. (Plant et al., 2000; Reddy et al., 2003; Zarco et al., 2005; Vellidis et al., 2009; Porte, et al., 2010). Πρόσφατες έρευνες (Vellidis et al., 2004) έχουν τεκμηριώσει την άνιση κατανομή της φυτικής βιομάζας σε περιοχές του χωραφιού με βαμβάκι. Αυτή η άνιση κατανομή είναι αποτέλεσμα της παραλλακτικότητας των παραμέτρων του εδάφους, όπως των θρεπτικών ουσιών, της υγρασίας του pH, της υφής και της μεταβλητότητας στο μικροκλίμα σε τμήματα του χωραφιού και των ασθενειών και των παρασίτων. Ωστόσο, οι περισσότεροι αμερικανοί παραγωγοί βάμβακος εξακολουθούν να εφαρμόζουν ενιαία αγροχημικά σε όλη την έκταση της βαμβακοκαλλιέργειας. Πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι οι μεταβλητή εφαρμογή (VRA) του αζώτου, των PGRs (ρυθμιστές ανάπτυξης των φυτών) και των αποφυλλωτικών αντισταθμίζει την άνιση κατανομή του ύψους των φυτών και είναι μια καλή πρακτική διαχείρισης. Για παράδειγμα, εφαρμόζοντας μεγαλύτερη δόση PGR σε ένα τμήμα του αγρού με υψηλή φυτική βιομάζα και λιγότερο σε ένα τμήμα με χαμηλή φυτική βιομάζα θα οδηγήσει σε πιο ομοιόμορφη ανάπτυξη των φυτών. Κάτι ανάλογο ισχύει για την εφαρμογή αποφυλλωτικών. Αντίθετα, σταθερές δόσεις εφαρμογής συχνά μπορεί να οδηγήσουν σε άνιση

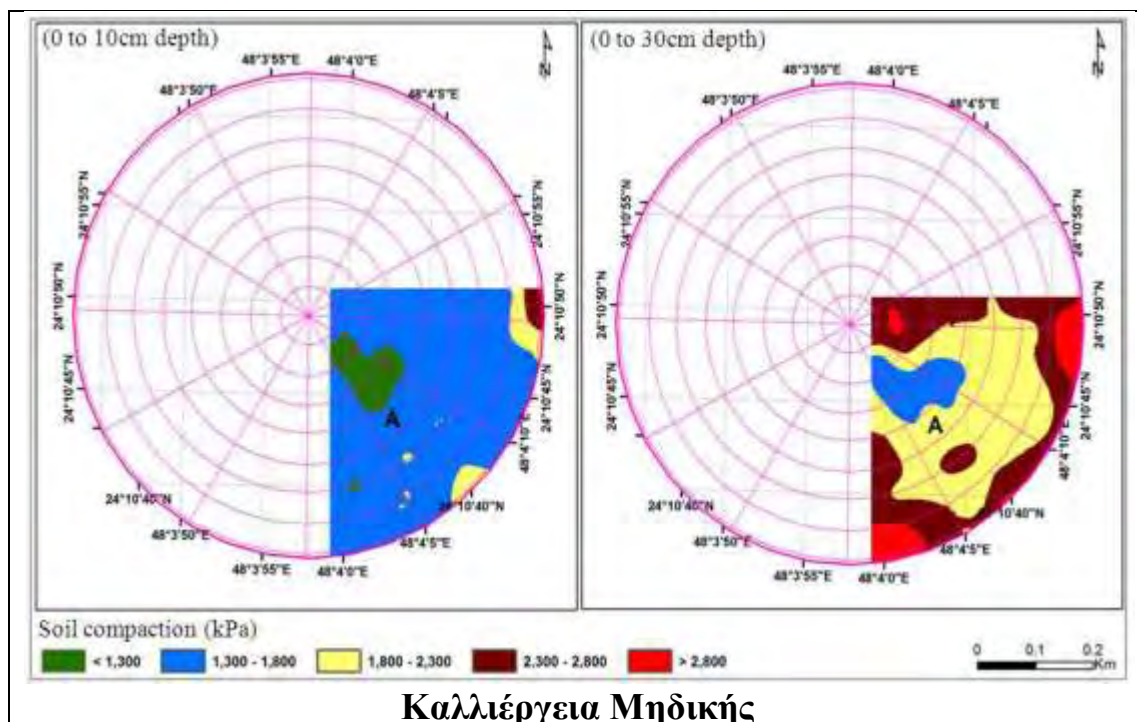
ανάπτυξη ή αποφύλλωση. Η ομοιόμορφη ανάπτυξη έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερη απόδοση στη συγκομιδή και υψηλότερη ποιότητα των ινών. Η άνιση ανάπτυξη ή αποφύλλωση οδηγεί μερικές φορές τους παραγωγούς βαμβακιού στην εφαρμογή και πρόσθετων αγροχημικών. (Vellidis et al., 2009).

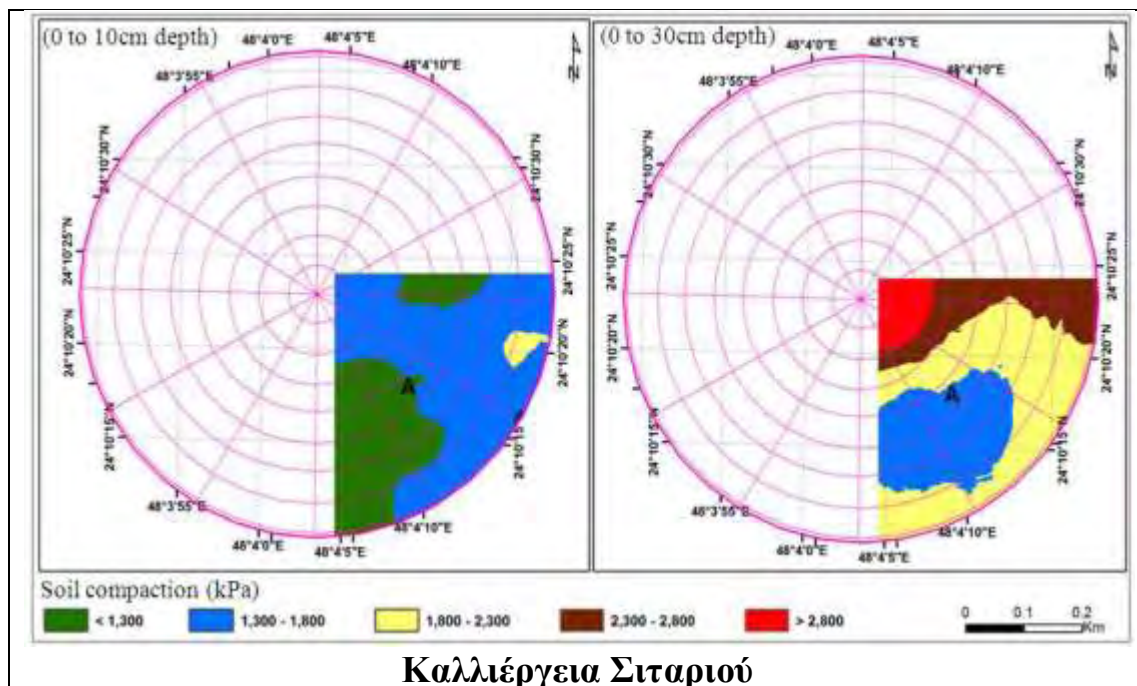
Οι μεγαλύτεροι χρήστες της τεχνικής NDVI για τη διαχείριση της βαμβακοκαλλιέργειας βρίσκονται στις Μεσονότιες πολιτείες των ΗΠΑ. Εκεί, αναπτύσσονται χάρτες NDVI από πολυφασματικές αεροφωτογραφίες από την εταιρεία Intime (Greenville, Mississippi, USA), μια εταιρεία που προσφέρει υπηρεσίες γεωργίας ακριβείας. Σε πολλές περιοχές παραγωγής βαμβακιού, όμως, δεν υπάρχουν πάροχοι υπηρεσιών γεωργίας ακριβείας και έτσι οι παραγωγοί βαμβακιού αξιολογούν εναλλακτικές λύσεις. Για παράδειγμα, στη Λουιζιάνα και Αλαμπάμα, οι παραγωγοί βαμβακιού έχουν πειραματιστεί με την εφαρμογή μεταβλητής ποσότητας PGRs και αποφλοιωτικών με χρήση συστημάτων που βασίζονται οι αισθητήρες, όπως το GreenSeeker® (NTech Industries, Ukiah, Καλιφόρνια, ΗΠΑ) (Vellidis et al., 2009) ή το Circle που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα έρευνα ανάπτυξης χαρτών NDVI.

4.4. Σχέση Συμπίεσης Εδάφους και Δείκτη NDVI

Η μελέτη του Al-Gaadi (2013), σε δύο αγρούς έκτασης 12,5 ha που καλλιεργούνταν με σιτάρι και μηδική, πραγματοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της συμπίεσης του εδάφους (SC), της χωρικής μεταβλητότητάς της και τις επιπτώσεις της στην απόδοση των καλλιεργειών που αρδεύονταν με σύστημα κινούμενων κυκλικά σωλήνων με ακροφύσια (Pivot). Η αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση μετρήθηκε με τη χρήση ενός διεισδυσιόμετρου τύπου κώνου (soil

penetrometer), σε δύο διαφορετικά βάθη του εδάφους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το έδαφος του αγροτεμαχίου μηδικής εμφάνισε σημαντικά υψηλότερες τιμές συμπίεσης (κατά μέσο όρο 1.730,33 και 2.329,60 kPa, για βάθος 10 cm και 30 cm, αντίστοιχα) σε σύγκριση με εκείνα που έδειξε το έδαφος του αγροτεμαχίου σίτου (κατά μέσο όρο σε 1339.685 και 2088.903 kPa, για βάθος 10 cm και 30 cm αντίστοιχα). Και στις δύο καλλιέργειες η συμπίεση του εδάφους είναι μεγαλύτερη στις περιπτώσεις όπου οι μετρήσεις έγιναν σε βάθος 0-30 cm. (Εικόνα 4.3)



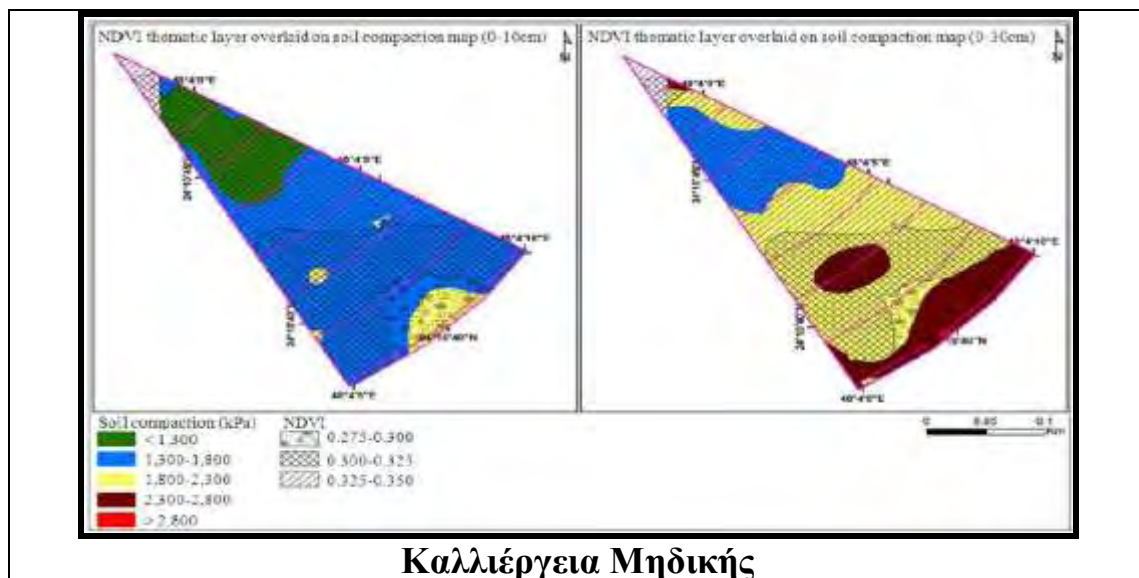


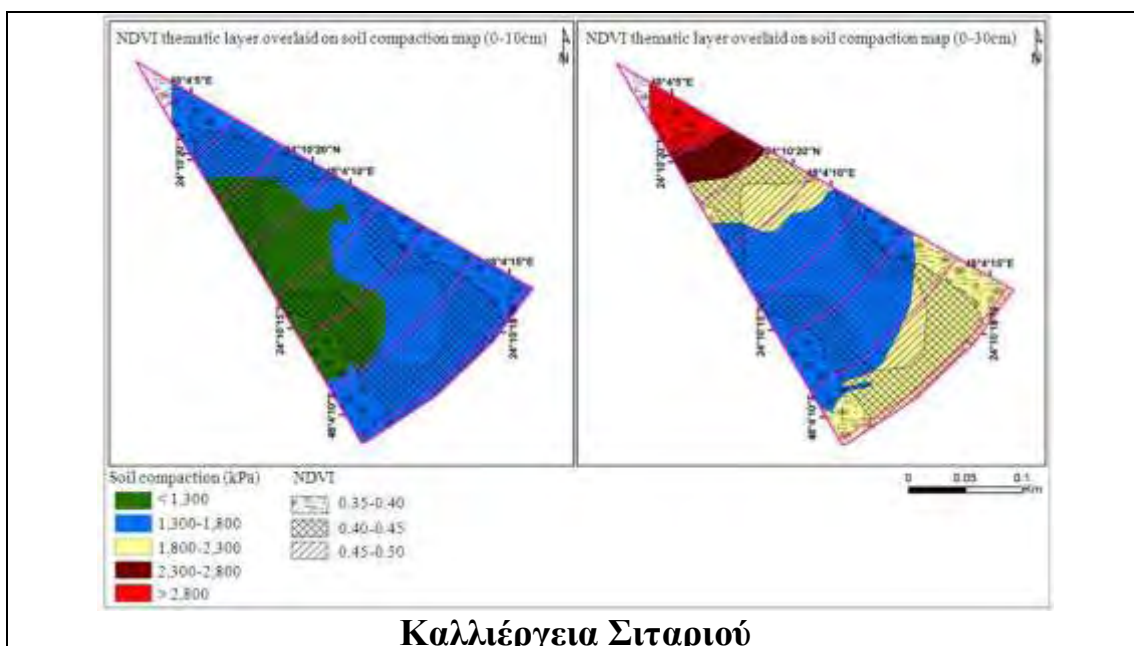
Εικόνα 4.3. Μεταβολή της Συμπίεσης του εδάφους στις δύο καλλιέργειες για δύο βάθη μέτρησης

Ο κύριος στόχος αυτής της μελέτης του Al-Gaadi (2013), ήταν να εκτιμηθεί η χωρική μεταβλητότητα της συμπίεση του εδάφους και να διερευνηθεί η επίδραση της στην απόδοση των καλλιεργειών. Οι ειδικοί στόχοι, ήταν: ο προσδιορισμός της συμπίεσης του εδάφους και η κατασκευή αντίστοιχων χαρτών, η σύγκριση των χαρτών συμπίεσης μεταξύ των καλλιεργειών μηδικής και σιταριού, η κατασκευή χαρτών του δείκτη NDVI για τις δύο καλλιέργειες και τέλος να μελετηθεί η επίδραση της συμπίεσης στην απόδοση των καλλιεργειών με βάση τις μετρούμενες τιμές NDVI , την 17^η Φεβρουαρίου και 4^η Μαρτίου του 2012. Τα αποτελέσματα έδειξαν για την καλλιέργεια της μηδικής σημαντική συσχέτιση ($p\text{-value} < 0,05$) με το δείκτη NDVI και για τις δύο περιόδους μέτρησης, με μεγαλύτερη την περίοδο του Μαρτίου, και να είναι αντιστρόφως ανάλογος προς τη συμπίεση του εδάφους (SC). Από την άλλη, για την καλλιέργεια σιταριού ο δείκτης NDVI και για τις δύο

περιόδους μέτρησης, βρέθηκε να μην σχετίζεται σημαντικά με τη συμπίεση του εδάφους ($p\text{-value} > 0,05$).

Χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα GIS και δεδομένα δορυφορικών εικόνων κατασκευάστηκαν χάρτες της συμπίεσης του εδάφους και του δείκτη NDVI των δύο καλλιεργείων. Η χωρική ανάλυση έδειξε ότι για την καλλιέργεια μηδικής, το 47,22 % της περιοχής που καλύπτεται από τις υψηλότερες τιμές NDVI (0,325 - 0,350) συνδέεται με τις χαμηλές τιμές συμπίεσης SC (≤ 1800 kPa) στο πρώιμο στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας. Για την καλλιέργεια σιταριού, η κατανομή των τιμών NDVI δεν επηρεάζεται από τη συμπίεση SC και στα δύο στάδια της ανάπτυξης της καλλιέργειας (Εικόνα 4.4).





Καλλιέργεια Σιταριού
Εικόνα 4.4. Παράλληλη απεικόνιση της συμπίεσης του εδάφους και του δείκτη NDVI, σε αγροτεμάχιο μηδικής και σιταριού. Πηγή: Al-Gaadi, (2013)

Η χαρτογράφηση της συμπίεσης του εδάφους και του δείκτη NDVI των καλλιεργειών δίνει τη δυνατότητα να κατανοήσουμε καλύτερα τη χωρική μεταβλητότητα της συμπίεσης σε ένα χωράφι και τις επιπτώσεις της στην απόδοση των καλλιεργειών. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τους παραγωγούς στο να καθορίσουν πού και πότε να οργώσουν το έδαφος καθώς και τη χρήση των απαραίτητων μηχανημάτων κατεργασίας σύμφωνα με τις απαιτήσεις τις εκάστοτε καλλιέργειας. Η επίδραση της συμπίεσης του εδάφους στην απόδοση των καλλιεργειών παρατηρήθηκε να είναι σημαντικά διαφορετική, ανάλογα με την απόκριση της κάθε καλλιέργειας (Al-Gaadi, 2013). Αυτά τα αποτελέσματα ήταν σύμφωνα και με τα πορίσματα της μελέτης που πραγματοποιήθηκε από τους Kulkarni και Bajwa (2005), που αναφέρουν ότι η επίδραση της συμπίεσης στην φασματική απόκριση ήταν σημαντική όπως φαίνεται από μετρήσεις του NDVI της βλάστησης. Έδειξαν επίσης ότι η συμπίκνωση του εδάφους σε βάθος 15 και 24 εκατοστά είχε σημαντική επίδραση στην απόδοση του

βαμβακιού. Οι Kulkarni, et al., (2010), κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο δείκτης NDVI αποτελεί παράγοντα που μπορεί έμμεσα να υποδηλώνει συμπύκνωση του εδάφους καθώς συσχετίστηκε σημαντικά με τις παραμέτρους συμπίεσης σε μία ημερομηνία συλλογής δεδομένων ή οποιοδήποτε άλλο πρόβλημα του εδάφους όπως επάρκεια αζώτου κλπ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΒΑΜΒΑΚΙ

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το βαμβάκι είναι ένα βιομηχανικό φυτό και αποτελεί μια από τις δυναμικότερες καλλιέργειες για τη χώρα μας. Αποτελεί ένα προϊόν με σοβαρές εξαγωγικές δυνατότητες με ανάλογα οφέλη για την Εθνική μας Οικονομία. Η οικονομική και κοινωνική σημασία της καλλιέργειας είναι πολύ σημαντική, αφού εκτιμάται ότι περίπου 250.000 άνθρωποι, κυρίως του αγροτικού, αλλά και του αστικού χώρου, εμπλέκονται άμεσα ή έμμεσα με το βαμβάκι εξασφαλίζοντας έτσι εργασία και εισόδημα. Συνεπώς, το βαμβάκι συμβάλλει σημαντικά στην περιφερειακή ανάπτυξη των περιοχών όπου καλλιεργείται, ενώ παράλληλα είναι ο βασικός προμηθευτής της ελληνικής βαμβακοβιομηχανίας καθώς και σημαντική πηγή συναλλάγματος για την εθνική μας οικονομία.

Οι κύριες βαμβακοπαραγωγικές περιοχές της χώρας είναι η Θεσσαλία, η Μακεδονία, Θράκη και Στερεά Ελλάδα. Η καλλιέργειά του εντατικοποιήθηκε μετά την ίδρυση του Οργανισμού Βάμβακος, το 1930. Την εποχή εκείνη οι καλλιεργούμενες εκτάσεις δεν ξεπερνούσαν τα 450.000-500.000 στρέμματα και η μέση απόδοση ήταν 70 Kg/στρέμμα. Η ίδρυση του Οργανισμού Βάμβακος βοήθησε στη δημιουργία μιας ξεκάθαρης στρατηγικής πάνω στα θέματα που αφορούν τη βαμβακοκαλλιέργεια όπως επιλογή κατάλληλων ποικιλιών προσαρμοσμένων στις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες, εφαρμογή σύγχρονων καλλιεργητικών πρακτικών και μεθόδων φυτοπροστασίας κ.λπ. Από τότε μέχρι σήμερα η καλλιέργεια του

βαμβακιού εξαπλώθηκε σε ολόκληρη τη χώρα στις καταλληλότερες περιοχές μιας και για την επίτευξη ποιοτικού προϊόντος απαιτούνται κάποιες ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες, τις οποίες θα δούμε στη συνέχεια. Σήμερα στην Ελλάδα, και ειδικότερα τις καλλιεργητικές περιόδους 2010 -2012, το βαμβάκι καλλιεργείται σε έκταση 3.000.000 περίπου στρεμμάτων και υπάρχουν θετικές προοπτικές για την περαιτέρω αύξησή τους, εξαιτίας των υψηλών διεθνών τιμών του εκκοκκισμένου και κατά συνέπεια και του σύσπορου βαμβακιού.

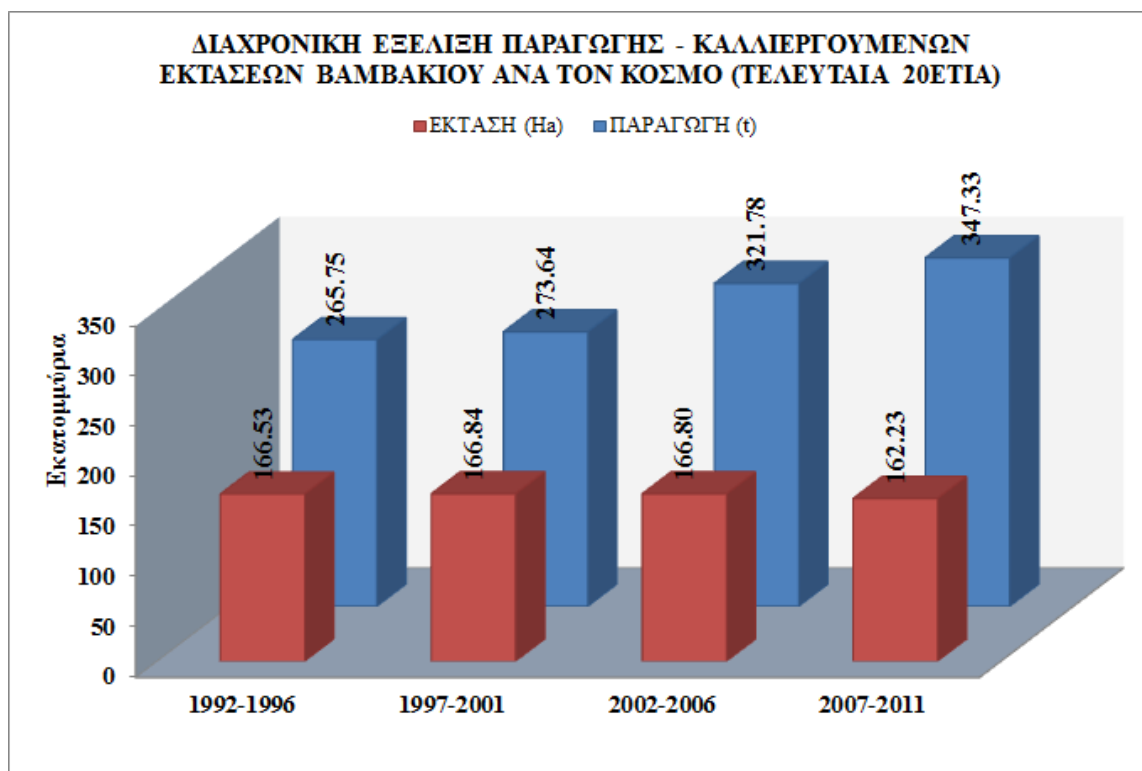
Σημαντικό είναι το ότι σε παγκόσμια κλίμακα η χώρα μας είναι μια από τις χώρες με τις υψηλότερες αποδόσεις σε βαμβάκι, λόγω των ιδιαίτερων ευνοϊκών κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν στη χώρα μας. Το βαμβάκι αποτελεί μαζί με τον καπνό ένα από τα σημαντικότερα προϊόντα για την αγροτική αλλά και για την εθνική μας οικονομία.

Σημαντική είναι και η θέση της βιομηχανίας που ασχολείται με την επεξεργασία του βαμβακιού προσφέροντας θέσεις εργασίας και εξοικονόμηση συναλλάγματος. Το βαμβάκι χρησιμοποιείται εκτός από την βιομηχανία υφασμάτων, στην φαρμακευτική, στην βιομηχανία ελαστικών, κ.λπ. και τα υποπροϊόντα του στην κτηνοτροφική ως ζωοτροφή, στη σαπωνοποιία κ.λπ., ενώ όπως είναι γνωστό από τον σπόρο εξάγεται το βαμβακέλαιο, προϊόν που χρησιμοποιείται στο μαγείρεμα. Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα τελευταία χρόνια διεθνώς παρατηρείται πτωτική τάση των τιμών του βαμβακιού καθώς και της ζήτησης. Το βαμβάκι έχει σημαντικούς ανταγωνιστές στο χώρο της υφαντουργίας, τις συνθετικές ύλες, οι οποίες είναι πολύ φθηνότερες. Επιπλέον, οι τιμές επηρεάζονται έντονα από την οικονομική κρίση που παρατηρείται στις χώρες με ανεπτυγμένη υφαντουργία με αποτέλεσμα την μείωση της ζήτησης. Έτσι, με δεδομένο τον περιορισμό της ζήτησης

ή την παραμονή της σε σταθερά επίπεδα και το γεγονός ότι έχουμε φτάσει σε υψηλές αποδόσεις, είναι επιτακτική η ανάγκη εξεύρεσης τρόπου μείωσης του κόστους παραγωγής ώστε να διατηρηθεί σε ικανοποιητικά επίπεδα το εισόδημα των παραγωγών.

Στη διαμόρφωση του εισοδήματος του παραγωγού σημαντικό ρόλο παίζουν και οι κοινοτικές ενισχύσεις. Ο Έλληνας βαμβακοπαραγωγός εφαρμόζει σύγχρονες καλλιεργητικές πρακτικές, ενώ σχεδόν το σύνολο των καλλιεργούμενων εκτάσεων είναι αρδευόμενες και εκμηχανισμένες. Σημαντικό περιοριστικό παράγοντα για την ελληνική βαμβακοκαλλιέργεια αποτελούν οι κλιματολογικές συνθήκες, ορισμένες χρονιές, πρόβλημα το οποίο μπορεί να προσπεραστεί κατά κάποιο τρόπο με την επιλογή των κατάλληλων ποικιλιών για την συγκεκριμένη περιοχή καλλιέργειας. Οι Έλληνες βαμβακοκαλλιεργητές δίνουν έμφαση περισσότερο στην ποσότητα και λιγότερο στην ποιότητα και σε αυτό τους ωθεί το γεγονός ότι δεν υπάρχει διαμορφωμένο καθεστώς των κοινοτικών ενισχύσεων. Παρόλα αυτά θα πρέπει να ξέρουμε ότι αν οι Έλληνες βαμβακοπαραγωγοί θέλουν να εξασφαλίσουν το μέλλον του ελληνικού βαμβακιού θα πρέπει να αλλάξουν την παρούσα νοοτροπία και να οδηγηθούν στην παραγωγή ποιοτικά ανώτερου προϊόντος με παράλληλη προσπάθεια μείωσης του κόστους παραγωγής.

5.2. Σημερινή Κατάσταση της βαμβακοκαλλιέργειας στον κόσμο



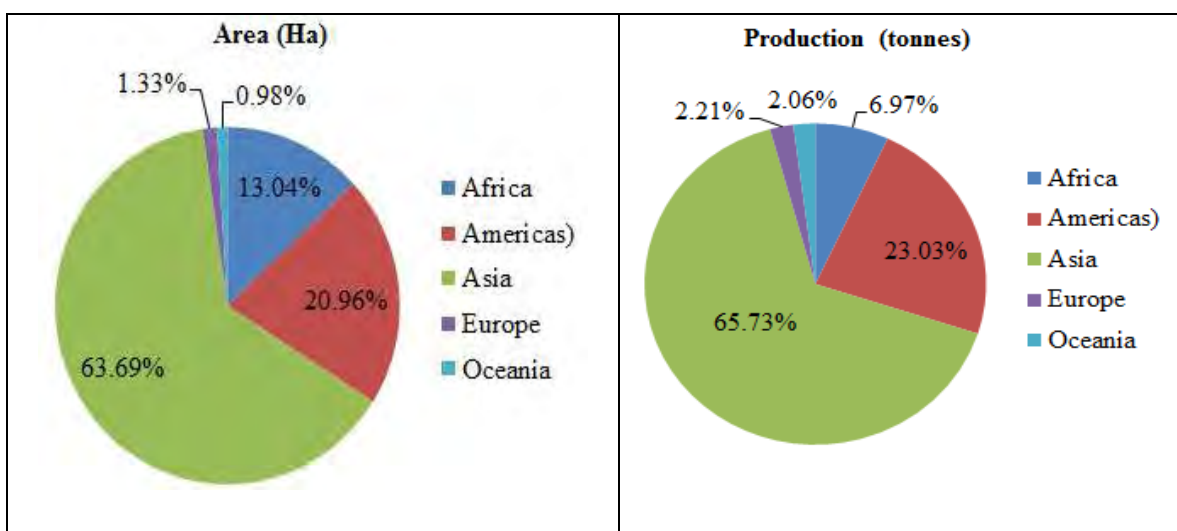
Σχήμα 5.1: Διαχρονική Εξέλιξη Παραγωγής και Καλλιεργούμενων Εκτάσεων Βαμβακιού ανά τον Κόσμο, Πηγή: FAOSTAT, 2013

Από το Σχήμα 5.1 παρατηρούμε ότι η παραγωγή του βαμβακιού, ανά τον κόσμο, παρουσιάζει σε γενικές γραμμές αυξητική πορεία όσον αφορά στο μέγεθος της παραγωγής για τις πενταετίες 1992-1996, 1997-2001, 2002-2006 και 2007-2011.

Όσον αφορά τις καλλιεργούμενες εκτάσεις παρατηρείται αυξητική πορεία για τις δύο πρώτες πενταετίες, ενώ από το 2002 έως και το 2011 παρατηρείται μείωση των καλλιεργούμενων εκτάσεων βαμβακιού.

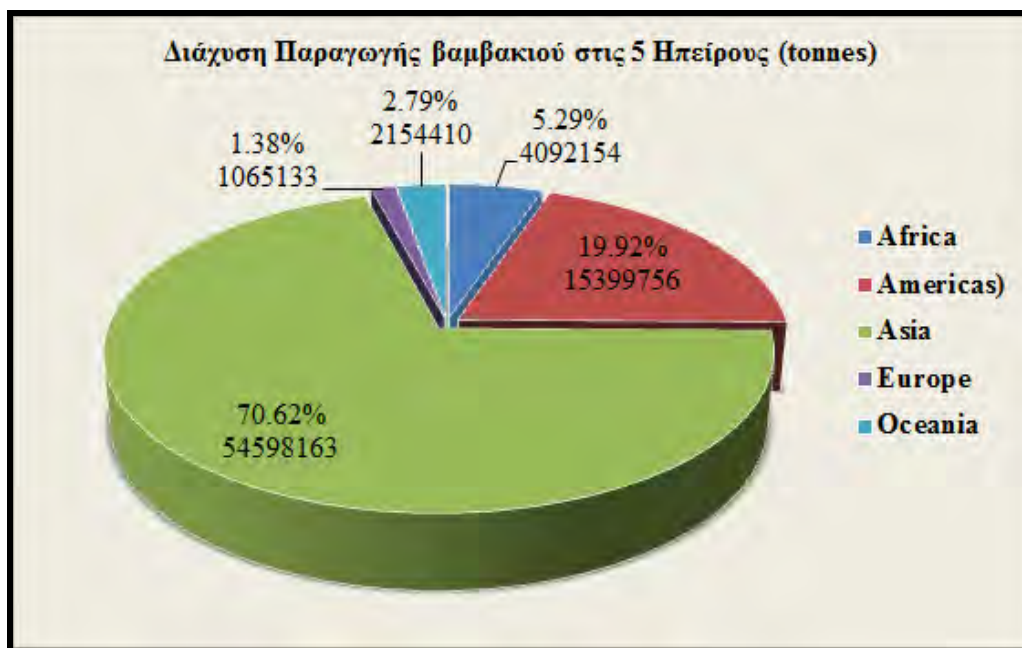
Η διάχυση της καλλιέργειας βαμβακιού στις 5 Ηπείρους φαίνεται στο Σχήμα 2. Παρατηρούμε ότι κατά μέσο όρο, τα τελευταία 20 χρόνια, η

μεγαλύτερη παραγωγή και οι περισσότερες καλλιεργούμενες εκτάσεις βαμβακιού βρίσκονται στην Ασία με ποσοστό 65,76% και 63.69% αντίστοιχα, ακολουθούν η Αμερική με ποσοστό παραγωγής 23,03% και εκτάσεις 20,96%, η Αφρική με παραγωγή 6,97% και εκτάσεις 13,04%, η Ευρώπη με ποσοστό παραγωγής 2,21% και καλλιεργούμενες εκτάσεις 1,33% και τέλος η Ωκεανία με ποσοστό παραγωγής 2,06% και εκτάσεις 0,98 (Σχήμα 5.2).



Σχήμα 5.2: Ποσοστά κατανομής της παραγωγής και των καλλιεργούμενων εκτάσεων βαμβακιού στις 5 Ηπείρους τα τελευταία 20 έτη. Πηγή: FAOSTAT, 2013

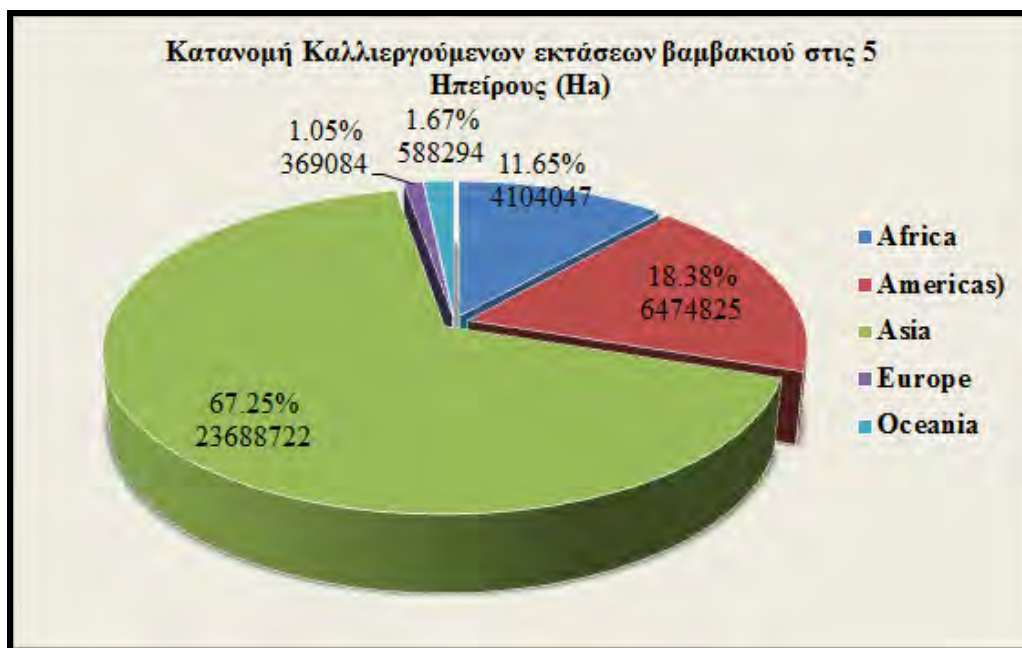
Η κατανομή της καλλιέργειας του βαμβακιού το έτος 2011 ακολουθεί την ίδια πορεία κατανομής της παραγωγής με την τελευταία 20ετία για τις ηπείρους Ασία (70,62%), Αμερική (19,92%) και Αφρική (5,29%). Διαφέρει όσον αφορά στη σειρά κατάταξη των δύο τελευταίων ηπείρων όπου η Ευρώπη (1,38%) φαίνεται να έχει μικρότερη παραγωγή βαμβακιού από την Ωκεανία (2,79%) για το έτος 2011, κάτι το οποίο διαφέρει από την εικόνα της παραγωγής βαμβακιού της τελευταίας 20ετίας. (Σχήμα 5.3).



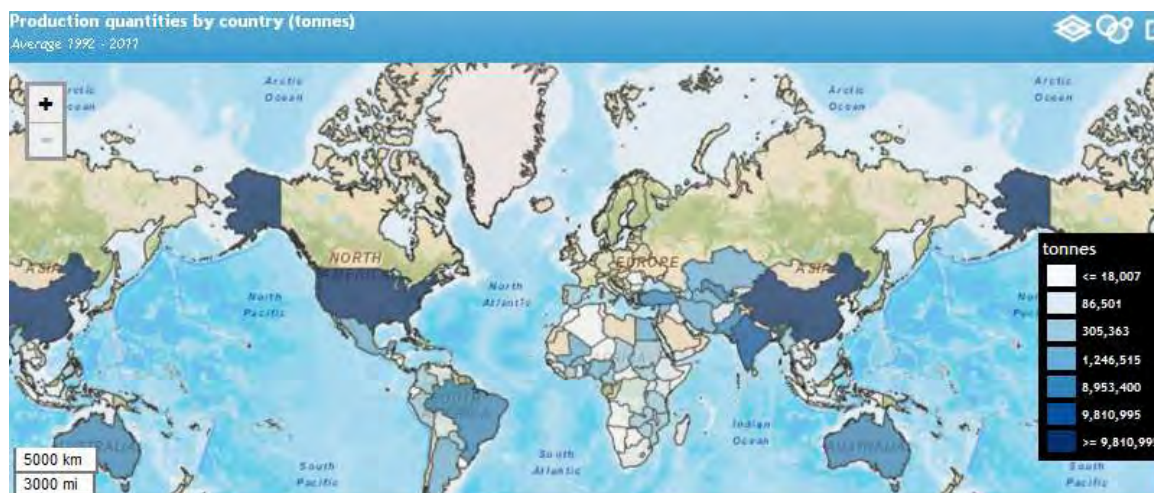
Σχήμα 5.3: Διάχυση Παραγωγής Βαμβακιού στις 5 Ηπείρους το έτος 2011. Πηγή: FAOSTAT, 2013

Η διάχυση των καλλιεργούμενων εκτάσεων βαμβακιού είναι όμοια με τη διάχυση της παραγωγής για το έτος 2011. Η Ασία καταλαμβάνει την πρώτη θέση με 23688722 Ha καλλιεργούμενων εκτάσεων βαμβακιού, ακολουθεί η Αμερική με 6474825 Ha και η Αφρική με 4104047 Ha. Όσον αφορά στην Ευρώπη αυτή έχει τις λιγότερες καλλιεργούμενες εκτάσεις (369084). (Σχήμα 5.4).

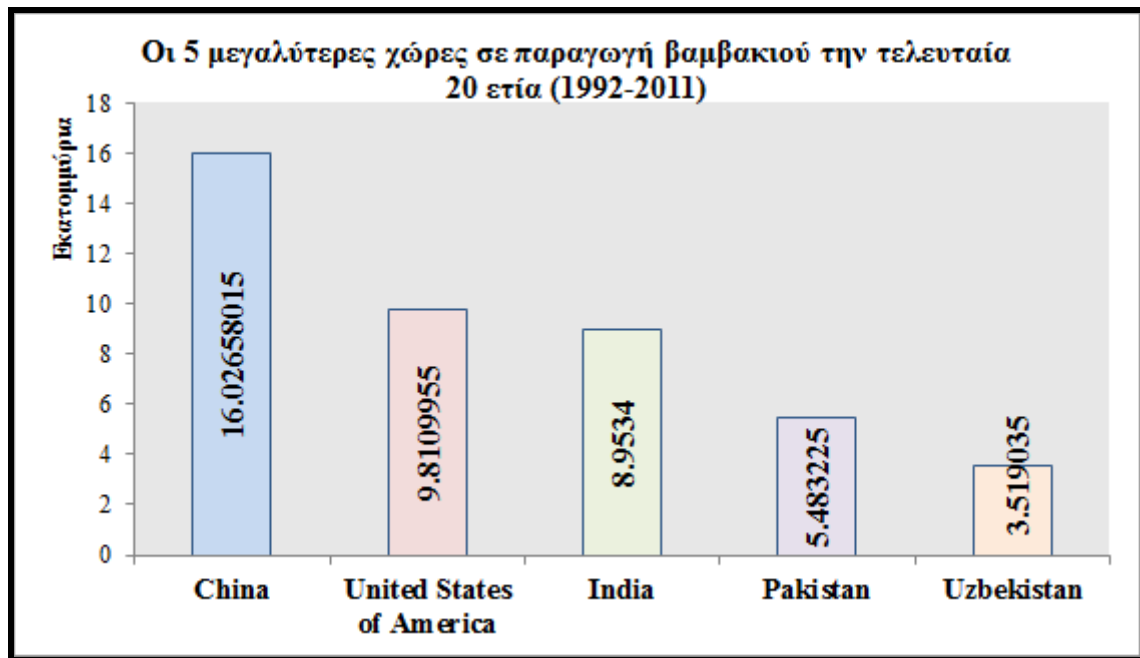
Η Εικόνα 3 δείχνει κατά μέσο όρο τη διάχυση της παραγωγής βαμβακιού ανά τον κόσμο των τελευταίων 20 ετών. Με μπλε βαθύ απεικονίζονται οι χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή. Αυτές είναι: η Κίνα, οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, η Ινδία, το Πακιστάν και το Ουζμπεκιστάν (Σχήμα 5.5).



Σχήμα 5.4: Διάχυση Εκτάσεων Καλλιέργειας Βαμβακιού στις 5 Ηπείρους το 2011. Πηγή: FAOSTAT, 2013



Εικόνα 5.1: Απεικόνιση της παραγωγής Βαμβακιού ανά τον κόσμο τα τελευταία 20 έτη. Πηγή: FAOSTAT, 2013



Σχήμα 5.5: Οι πέντε χώρες με τη μεγαλύτερη κατά μέσο όρο παραγωγή βαμβακιού τα τελευταία 20 έτη. Πηγή: FAOSTAT, 2013

Παρακάτω φαίνεται η διαχρονική εξέλιξη της παραγωγής, των καλλιεργούμενων εκτάσεων και της απόδοσης της καλλιέργειας βαμβακιού στην Ευρώπη των 27 Κρατών Μελών (EU 27) για τις τετραετίες 1993-1996, 1997-2000, 2001-2004, 2005-2008 και 2009-2012 (Πίνακας 5.1). Η καλλιέργεια του βαμβακιού υποστηρίζεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση με επιδοτήσεις που ξεπερνούν τα 770 εκατ. ΕΥΡΩ ετησίως. Η Ελλάδα και η Ισπανία είναι οι μοναδικές χώρες στην Ευρώπη που παράγουν βαμβάκι, με τη χώρα μας να απολαμβάνει το 80% των συνολικών ενισχύσεων της Ευρώπης. Τα παρακάτω στοιχεία αντλήθηκαν από τις χώρες Ελλάδα, Ισπανία, Βουλγαρία και Ρουμανία. (FAOSTAT, 2013).

Από τον Πίνακα 5.1 γίνεται φανερό ότι οι καλλιεργούμενες εκτάσεις βαμβακιού στην Ευρώπη σε γενικές γραμμές μειώνονται με το πέρασμα του χρόνου. Τις πρώτες δύο τετραετίες είχαμε αυξητική πορεία και

κυρίως κατά την τετραετία 1996-1999, κατά την οποία είχαμε αύξηση των καλλιεργούμενων εκτάσεων κατά 5 εκατοστιαίες μονάδες σε σχέση με την προηγούμενη τετραετία. Από κει και πέρα μετά το 1999 ακολουθεί μια πτωτική τάση, και από 2112397 ha βαμβακοκαλλιεργειών που ήταν τη τετραετία 1996-1999 φτάνουμε τα 1274679 ha την τετραετία 2008-2011.

Πίνακας 5.1: Διαχρονική Εξέλιξη Παραγωγής, Εκτάσεων και Απόδοσης Καλλιέργειας Βαμβακιού στην Ευρώπη (EU-27). Πηγή: FAOSTAT, 2013

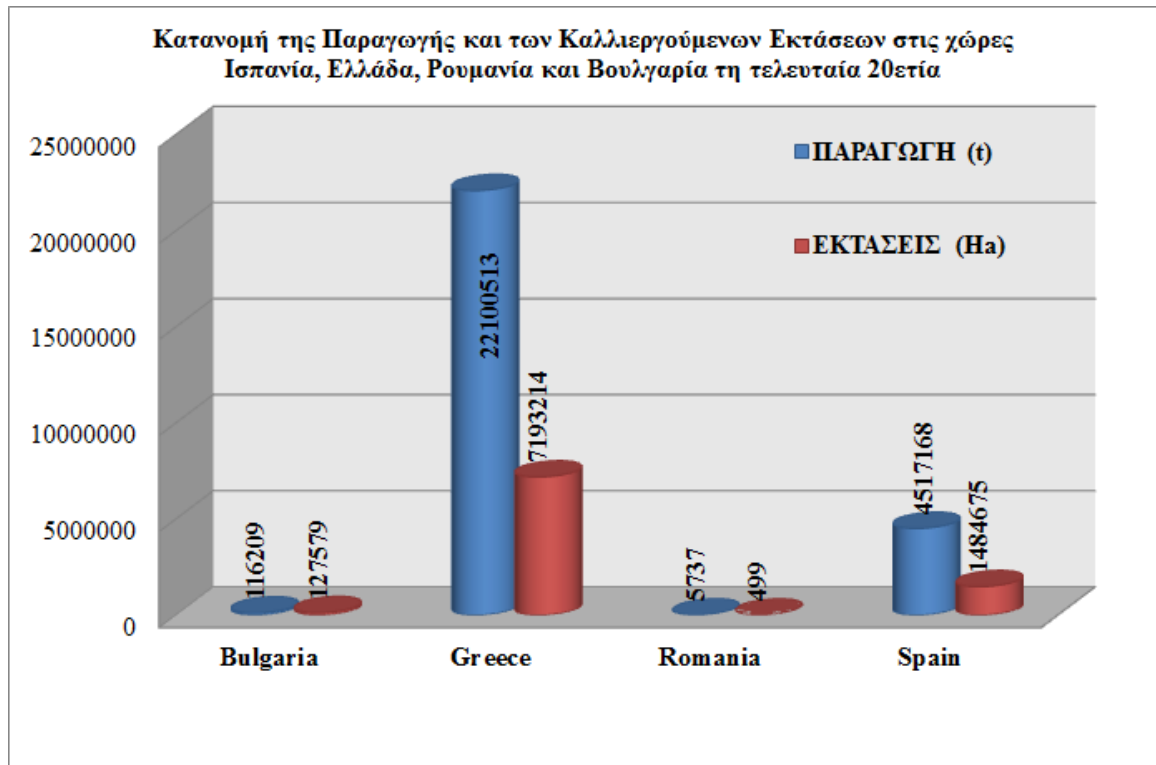
Περίοδος Ποσοστό καλ. Βαμβακιού	Καλλιεργούμενες Εκτάσεις (ha)	Παραγωγή (t)	Απόδοση Καλλιεργειών (kg/ha)
1992-1995	1665449	4914272	302970
Ποσοστό (%) επί του συνόλου	18.91%	18.39%	20.73%
1996-1999	2112397	6292151	323169
Ποσοστό (%) επί του συνόλου	23.99%	23.55%	22.11%
2000-2003	1969737	6307670	305187
Ποσοστό (%) επί του συνόλου	22.37%	23.61%	20.88%
2004-2007	1783705	5458690	287022
Ποσοστό (%) επί του συνόλου	20.26%	20.43%	19.64%
2008-2011	1274679	3744804	243055
Ποσοστό (%) επί του συνόλου	14.48%	14.02%	16.63%

Όσον αφορά την παραγωγή βαμβακιού επικρατεί σχεδόν η ίδια εικόνα με τις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Τις τρεις πρώτες τετραετίες παρατηρείται αύξηση στην παραγωγή βαμβακιού στην Ευρώπη, η οποία από το 1992-2003 αυξήθηκε κατά 5 %. Ακολούθως από το 2004 και μετά έχουμε κατακόρυφη μείωση της παραγωγής η οποία φτάνει το έτος 2011 τους 1064314 τόνους σε σχέση με 1696234 τόνους που ήταν το 2001.

Τέλος αντίστοιχη με την παραγωγή είναι και η παρουσίαση της απόδοσης των καλλιεργειών η οποία παρουσιάζει με τη σειρά της φθίνουσα πορεία στο πέρασμα του χρόνου. Από 20,73% που ήταν την τετραετία 1992-1995 αυξήθηκε στο 22,11% την τετραετία 1993-1999, και μετά ακολούθησε πτωτική τάση η οποία φτάνει την τετραετία 2008-2011 τα 16,63%. Αυτό είναι αναμενόμενο εφόσον επικρατεί φθίνουσα εικόνα τόσο στην παραγωγή όσο και στις καλλιεργούμενες εκτάσεις

Συμπερασματικά λοιπόν, όσον αφορά την εξέλιξη της καλλιέργειας βαμβακιού στην Ευρώπη, αυτή παρουσιάζει πτωτική πορεία κατά τη διάρκεια της τελευταίας εικοσαετίας τόσο στην παραγωγή όσο και στις καλλιεργούμενες εκτάσεις βαμβακιού με συνακόλουθη πτωτική τάση και στην απόδοση των καλλιεργειών.

Στο παρακάτω Σχήμα 5.6 φαίνεται η κατανομή της παραγωγής και των καλλιεργούμενων εκτάσεων στις χώρες που προαναφέρθηκαν κατά τη διάρκεια της τελευταίας 20ετίας. Παρατηρούμε ότι η χώρα τόσο με τη μεγαλύτερη παραγωγή όσο και με τις περισσότερες εκτάσεις βαμβακιού είναι η Ελλάδα, ακολουθεί η Ισπανία , η Βουλγαρία και η Ρουμανία. Σύμφωνα με στοιχεία του FAOSTAT η Ελλάδα κατέχει την 8^η θέση μεταξύ των χωρών με τη μεγαλύτερη παραγωγή βάμβακος στο κόσμο και η Ισπανία τη 10^η θέση.



Σχήμα 5.6: Κατανομή της παραγωγής και των καλλιεργούμενων εκτάσεων βαμβακιού στην Ευρώπη (EU-27)

5.3. Σημερινή Κατάσταση της βαμβακοκαλλιέργειας στην Ελλάδα και την Κεντρική Ελλάδα

5.3.1. Βαμβακοκαλλιέργεια στην Ελλάδα

Η κατανομή της παραγωγής, των καλλιεργούμενων εκτάσεων και της απόδοσης της καλλιέργειας βαμβακιού στην Ελλάδα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.2. Φαίνεται λοιπόν ότι τόσο η παραγωγή όσο και οι καλλιεργούμενες εκτάσεις βαμβακιού κατά τις τρεις πρώτες τετραετίες παρουσιάζουν αύξηση (έως το 2003). Μετά το 2003 όπου η παραγωγή ήταν 1094000 τόνοι και οι καλλιεργούμενες εκτάσεις 374500 ha, ακολουθεί πτωτική τάση φτάνοντας το έτος 2011 να έχει 890000 τόνους

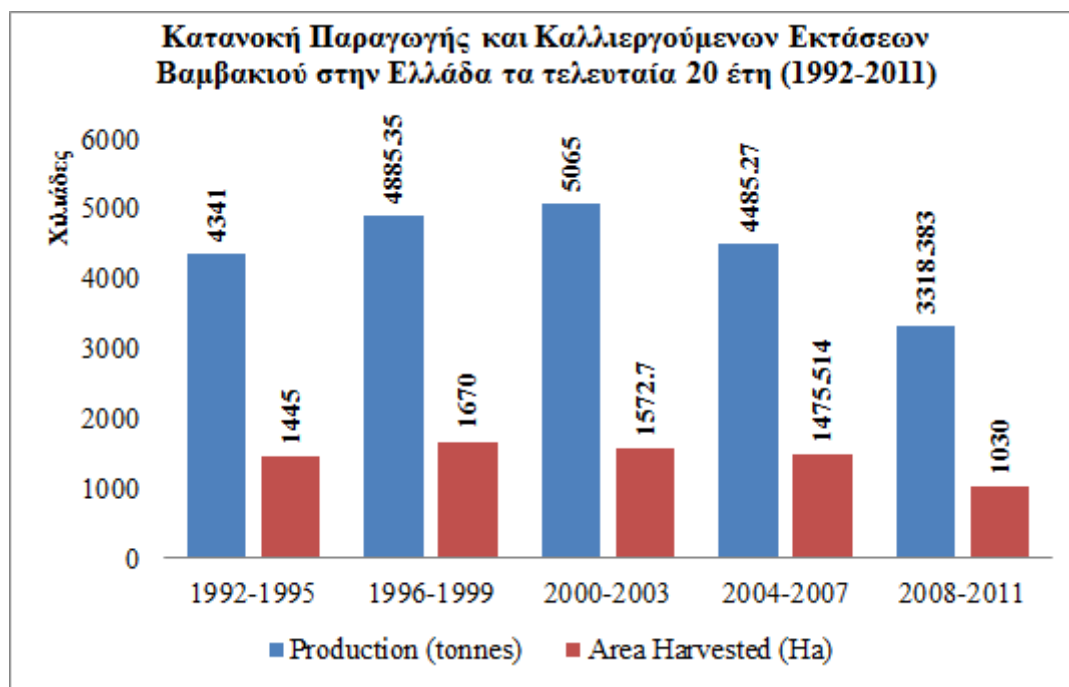
παραγωγή και 300000 ha καλλιεργούμενων εκτάσεων βαμβακιού. Αυτή η κατακόρυφη πτώση στην παραγωγή βαμβακιού μπορεί να οφείλεται μεν στο γεγονός ότι η καλλιέργεια βαμβακιού αποτελεί ενεργοβόρα καλλιέργεια με υπέρογκες απαιτήσεις σε νερό, επομένως είναι σχετικά ασύμφορη καλλιέργεια αλλά στο γεγονός ότι η καλλιέργεια βαμβακιού έχει εξαιρετικά υψηλό κόστος (FAOSTAT, 2013) (Πίνακας 2).

Σύμφωνα με στοιχεία του FAO για το έτος 2011 στην Ελλάδα 300.000 εκτάρια χρησιμοποιήθηκαν για την καλλιέργεια βαμβακιού. Ο μέσος όρος απόδοσης του αραβοσίτου είναι 29667 kg/ha κατά εκτάριο για το 2011. Η παραγωγή για το 2011 ήταν 890.000 τόνοι έναντι 700.000 τόνων το 2010, που αυτό μεταφράζεται σε αύξηση 21,34% από το 2010. Γενικότερα όμως μετά τη μεγάλη αύξηση παραγωγής που υπήρξε το 2003, η παραγωγή βαμβακιού ακολουθεί μια πτωτική τάση. (Σχήμα 5.7)

Πίνακας 5.2: Συνοπτικά Αποτελέσματα Καλλιέργειας Βαμβακιού στην Ελλάδα

Περίοδος Ποσοστό καλ. βαμβακιού	Production (tonnes)	Yield (kg/ha)	Area Harvested (ha)
1992-1995 Ποσοστό (%) επί του συνόλου	4341000 19.65%	119102 19.33%	1445000 20.09%
1996-1999 Ποσοστό (%) επί του συνόλου	4885350 22.11%	116945 18.98%	1670000 23.22%
2000-2003 Ποσοστό (%) επί του συνόλου	5065000 22.92%	128724 20.90%	1572700 21.86%

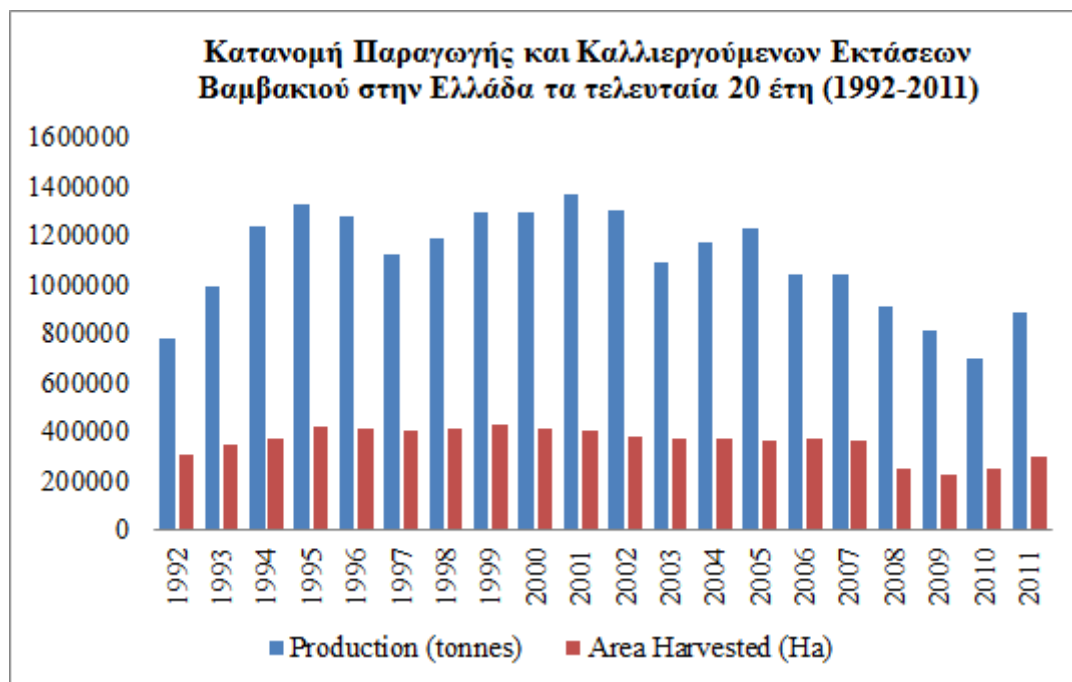
2004-2007			
Ποσοστό (%) επί του συνόλου	4485270	121625	1475514
	20.30%	19.74%	20.51%
2008-2011			
Ποσοστό (%) επί του συνόλου	3318383	129642	1030000
	15.02%	21.04%	14.32%



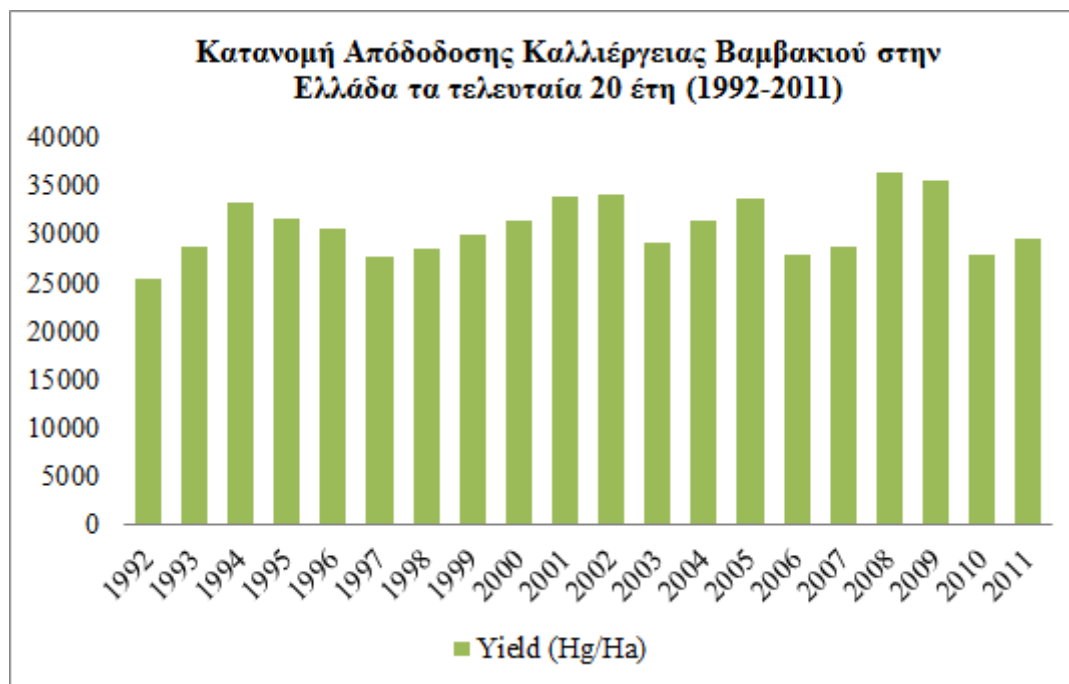
Σχήμα 5.7: Διαχρονική εξέλιξη της παραγωγής και των καλλιεργούμενων εκτάσεων καλλιέργειας βαμβακιού στην Ελλάδα (1992-2011). Πηγή: FAOSTAT, 2013

Στα Σχήματα 8 & 9 φαίνεται η κατανομή της παραγωγής, των εκτάσεων και της απόδοσης της καλλιέργειας βαμβακιού ανά έτος. Παρατηρούμε ότι οι εκτάσεις παρουσιάζουν μια σταθερότητα στο μέγεθός τους μέχρι το έτος 2007, ακολουθούν πτωτική τάση μέχρι το 2009 ενώ τα δύο τελευταία έτη αυξάνονται. Η παραγωγή παρουσιάζει скаμπανεβάσματα στο πέρασμα του χρόνου με τις σημαντικότερες παραγωγές να παρουσιάζονται κατά τα έτη, 1995 και από το 1999-2002 (Σχήμα 5.8)

Η απόδοση της καλλιέργειας βαμβακιού κατά τη διάρκεια των 20 ετών παρουσιάζει σκαμπανεβάσματα με τις μέγιστες αποδόσεις να σημειώνονται κατά τα έτη 2008 και 2009 (Σχήμα 5.9). Παρά τη φθίνουσα πορεία που ακολουθούν τόσο η παραγωγή όσο και οι καλλιεργούμενες εκτάσεις βαμβακιού, οι αποδόσεις αυξάνονται ενδεχομένως λόγω των διαφορετικών γεωργικών πρακτικών καλλιέργειας του βαμβακιού στο πέρασμα του χρόνου.



Σχήμα 5.8: Διαχρονική εξέλιξη της παραγωγής βαμβακιού στην Ελλάδα (1992-2011). Πηγή: FAOSTAT, 2013



Σχήμα 5.9: Διαχρονική εξέλιξη της απόδοσης καλλιέργειας βαμβακιού στην Ελλάδα (1992-2011). Πηγή: FAOSTAT, 2013

5.3.2. Καλλιέργεια Βαμβακιού στην Κεντρική Ελλάδα

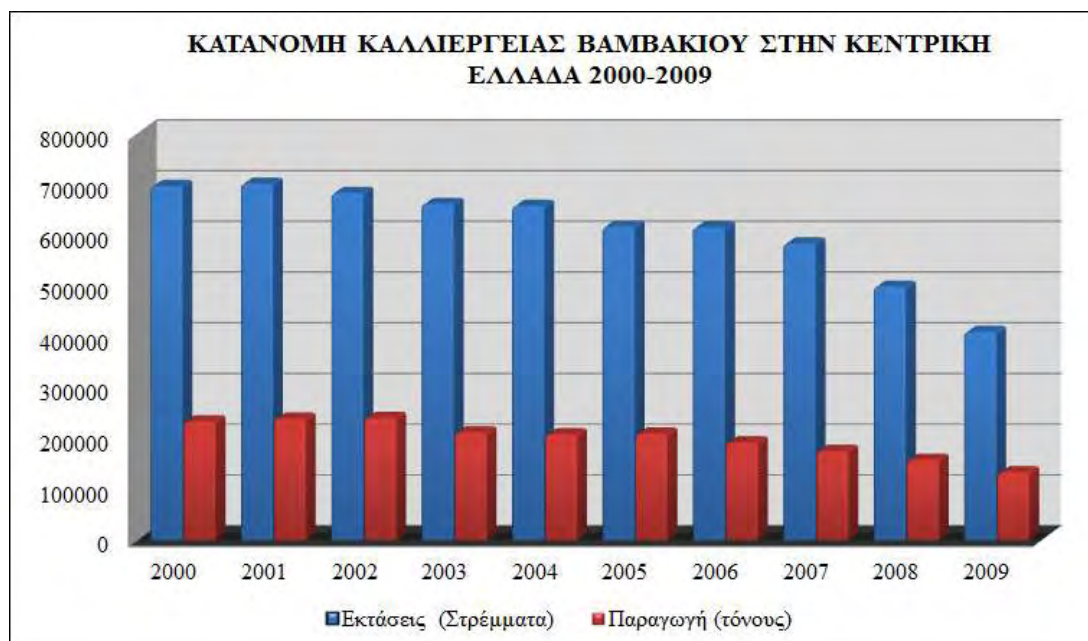
Το βαμβάκι θεωρείται διεθνώς ένα από τα πιο σπουδαία αγροτικά προϊόντα. Για πολλές χώρες αποτελεί κύρια πηγή εισροής οικονομικών πόρων. Στηρίζει το εισόδημα και την ανάπτυξη μεγάλων αγροτικών περιοχών (μεταξύ αυτών και της Περιφέρειας Κεντρικής Ελλάδας) και απασχολεί μεγάλο αριθμό εργατικού δυναμικού. Το βαμβάκι είναι ταυτόχρονα αγροτικό προϊόν και βιομηχανική πρώτη ύλη και έχει σπουδαία επίδραση στο γεωργικό και βιομηχανικό τομέα της παγκόσμιας οικονομίας.

Πρόκειται για μια πολύ σημαντική και ιδιόμορφη καλλιέργεια, καθώς απαιτεί άφθονο νερό και μεγάλη ξηρασία κατά το στάδιο της ωρίμανσης των καρυδιών. Για το λόγο αυτό καλλιεργείται σε περιοχές καλά

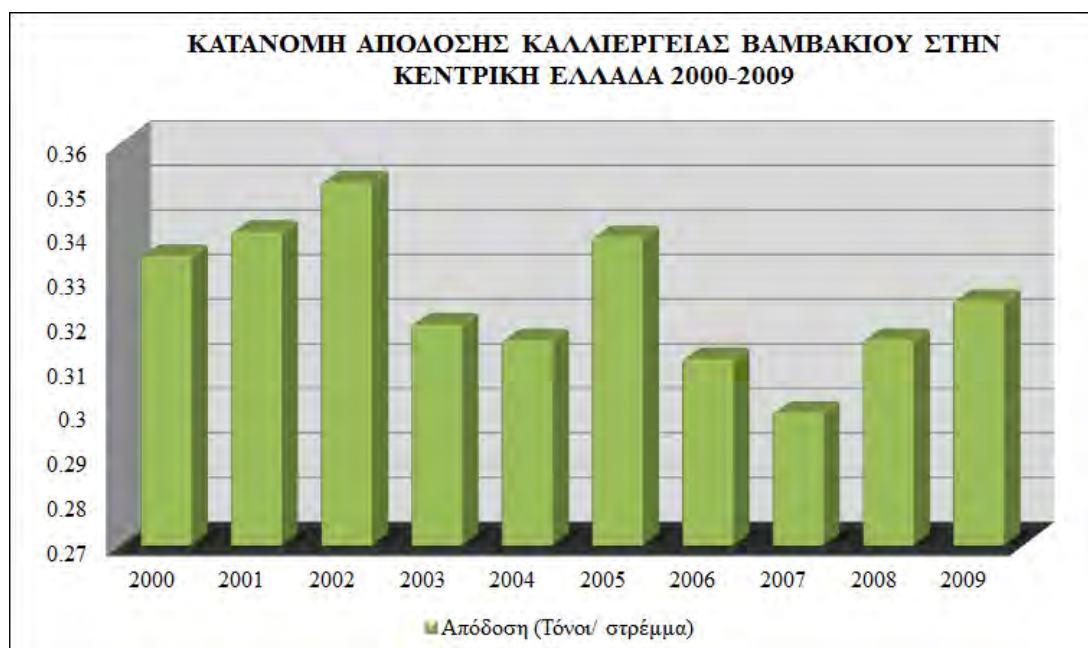
αρδευόμενες και με ηπειρωτικό κλίμα. Καταλαμβάνει έκταση 2,7 εκ. στρέμματα περίπου σε όλη τη χώρα (αποτελώντας το 80% της έκτασης που καλλιεργείται με βιομηχανικά φυτά) και η συνολική παραγωγή του ανέρχεται σε 820 χιλιάδες τόνους.

Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία που διαθέτει η Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία για την καλλιέργεια Βαμβακιού στην Κεντρική Ελλάδα (2000-2009), παρατηρείται μια σταδιακή μείωση στην καλλιέργεια βαμβακιού μετά το 2005. Η διαπίστωση είναι κοινή τόσο για την έκταση των καλλιεργειών όσο και για τον όγκο των παραγόμενων προϊόντων (Σχήμα 5.10), ενώ η συρρίκνωση των καλλιεργειών δεν συνοδεύεται και από πτώση της στρεμματικής απόδοσης των καλλιεργειών (Σχήμα 5.11).

Η γενικότερη εικόνα όμως όσον αφορά την παραγωγή βαμβακιού είναι πτωτική τόσο για την παραγωγή όσος και για τις καλλιεργούμενες εκτάσεις σε αντίθεση με τις αποδόσεις των καλλιεργειών ανά στρέμμα η οποία έχει σκαμπανεβάσματα με χαρακτηριστική αύξηση το 2009 εξαιτίας της βελτίωσης των γεωργικών πρακτικών καλλιέργειας βαμβακιού τόσο στην Ελλάδα όσο και σε ολόκληρο τον κόσμο. Οπότε ενώ θα περίμενε κανείς μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών λόγω της γενικότερης μείωσης στην παραγωγή και στις εκτάσεις, παρά ταύτα οι αποδόσεις των καλλιεργειών είναι μεγαλύτερες ανά στρέμμα (Σχήμα 5.10)



Σχήμα 5.10: Κατανομή Καλλιέργειας Βαμβακιού στην Κεντρική Ελλάδα. Πηγή: ΕΛ. ΣΤΑΤ.



Σχήμα 5.11: Κατανομή Απόδοσης Καλλιέργειας Βαμβακιού στην Κεντρική Ελλάδα. Πηγή: ΕΛ. ΣΤΑΤ.

5.4. Βοτανικά χαρακτηριστικά

Το βαμβάκι (*Gossypium* sp.) είναι φυτό της οικογένειας *Malvaceae*. Το γένος *Gossypium* sp. περιλαμβάνει πολυετή είδη, ποώδη ή δενδρώδη, που καλλιεργούνται σαν μονοετή. Το ριζικό σύστημα με πασσαλώδη ρίζα μήκος 60cm έως 1m με ύψος του κυρίου στελέχους να κυμαίνεται μεταξύ 60cm έως 180cm. Τα φύλλα είναι πεντάλοβα με μακρύ μίσχο. Τα άνθη είναι άσπρα, κίτρινα ή κόκκινα και μπορεί στη βάση των πετάλων να έχουν μια κηλίδα κόκκινου χρώματος (Γαλανοπούλου και Σενδούκα, 2002).

Ο καρπός είναι κάψα (καρύδι) με 3-5 καρπόφυλλα, μόλις ωριμάσει ανοίγει και εμφανίζονται οι ίνες του βαμβακιού, οι οποίες σχηματίζονται από την επιμήκυνση των επιδερμικών τριχών του σπόρου. Σε πολλές ποικιλίες εκτός από αυτές τις μακριές ίνες υπάρχουν και κοντές (χνούδι) που δεν απομακρύνονται με τον εκκοκκισμό (Γαλανοπούλου και Σενδούκα, 2002).

Το γένος *Gossypium* περιλαμβάνει γύρω στα 20 είδη, αλλά καλλιεργητική σημασία έχουν τα εξής:

1. *Gossypium hirsutum*: το πιο διαδεδομένο καλλιεργούμενο είδος βαμβακιού. Απαντάται στη χώρα μας, στην Τουρκία, στην Κίνα, στην Ινδία, στην Κορέα, στην Αφρική, στη Βραζιλία και στις Η.Π.Α. (όπου αντιπροσωπεύει το 99% της παραγωγής). Τα φυτά έχουν μικρό ύψος, άνθη άσπρα ή ελαφρά κίτρινα, κάψες 4 ή 5 χωρών, μήκος ίνας 25-31mm και σπόροι με χνούδι σε όλη την επιφάνεια.
2. *Gossypium barbadense*: κατάγεται από την Ν. Αμερική, έχει άνθη κίτρινα με κόκκινες κηλίδες, κάψα τρίχωρη και σπόρους με χνούδι στα άκρα. Στο είδος αυτό διακρίνουμε δύο τύπους:

i. Το Αιγυπτιακό βαμβάκι, που καλλιεργείται στη κοιλάδα του Νείλου και σε μικρότερη έκταση στο Σουδάν και στις Η.Π.Α., έχει πολύ μακριά ίνα (35-38mm) με ιδιαίτερα ποιοτικά χαρακτηριστικά (λεπτότητα και αντοχή).

ii. Τύπος Sea-Island, ο οποίος καλλιεργείται στη Φλόριντα και την Γεωργία. Έχει τις πιο μακριές ίνες (60mm), η καλλιέργεια του έχει περιοριστεί λόγω των σοβαρών ζημιών που υφίσταται από τις προσβολές του ανθονόμου (*Anthonomus grandis*).

3. *Gossypium herbaceum*: τύπος που καλλιεργείται στην Ασία με κοντές ίνες μικρής ποιοτικής αξίας.

4. *Gossypium arboreum*: το είδος αυτό απαντάται στην χώρα μας σαν άγριο είδος, έχει ίνες κοντές (13mm) αλλά πολύ ανθεκτικές.

Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι τα είδη *G.hirsutum* και *G.barbadense* συγκροτούν την ομάδα του αμερικανικού βαμβακιού (ομάδα *Hirsuta*, =26) και τα είδη *G.arboreum* και *G.herbaceum* την ομάδα του ασιατικού ή βάμβακα (ή είδη του Παλαιού κόσμου, ομάδα *Herbacea*, n=13).

Στην Ελλάδα το μοναδικό είδος που καλλιεργείτε είναι το *Gossypium hirsutum*, γνωστό ως χνουδωτό βαμβάκι. Είναι πολυετές αλλά στην χώρα μας καλλιεργείτε ως μονοετές γιατί επιβιώνει σε κρύο χειμώνα.

5.5 Εδαφοκλιματικές απαιτήσεις

5.5.1 Κλιματικές Απαιτήσεις

Το βαμβάκι κατάγεται από υποτροπικές χώρες οπότε οι απαιτήσεις σε θερμοκρασία είναι αυξημένες. Γενικά ευδοκίμει σε περιοχές όπου η μέση

θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 24-25ο C, γι' αυτό στα εύκρατα κλίματα υποφέρει στην αρχή και στο τέλος του βιολογικού του κύκλου. Σε χαμηλές θερμοκρασίες παρατηρείται διακοπή της ανάπτυξης ενώ σε υψηλές εκτός από την ανασχεση της ανάπτυξης παρατηρείται πτώση καρυδιών και χτενιών.

Η άριστη θερμοκρασία φυτρώματος είναι 30-34ο C, η μέγιστη 40ο C, και η ελάχιστη 14ο C. Στους 20-30ο ο σπόρος χρειάζεται 8-10 ημέρες για να βλαστήσει, ενώ στους 15ο C χρειάζεται το διπλάσιο χρόνο.

Το βαμβάκι για να ολοκληρώσει το βιολογικό του κύκλο χρειάζεται 170-210 ημέρες, ανάλογα με την ποικιλία και τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες, έτσι είμαστε υποχρεωμένοι να καταφεύγουμε σε κάποιες καλλιεργητικές επεμβάσεις (π.χ. ρυθμιστές ανάπτυξης) ώστε να περιορίζουμε τις επιδράσεις του κλίματος στη βαμβακοπαραγωγή.

Το βαμβάκι αναπτύσσεται ικανοποιητικά σε περιοχές με ζεστό καλοκαίρι, χωρίς βροχές, με μικρές διακυμάνσεις θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας, με υψηλή ατμοσφαιρική υγρασία κατά τη διάρκεια της νύχτας, μεγάλη ηλιοφάνεια, υψηλή εδαφική υγρασία και με φθινόπωρο ξηρό και θερμό, ώστε να ωριμάσουν κανονικά τα καρύδια. (Μπάτζιος και Παλάτος, 2006).

5.5.2. Εδαφικές Απαιτήσεις

Το βαμβάκι μπορεί να καλλιεργηθεί σε μεγάλη ποικιλία εδαφών. Σπάνια αποκλείεται η καλλιέργειά του για λόγους ακαταλληλότητας εδάφους.

Η καλλιέργεια βαμβακιού δεν μπορεί να ευδοκιμεί σε παθογενεί αλκαλικά ή όξινα εδάφη. Το κατάλληλο pH είναι 7 και 8 μπορεί όμως να καλλιεργηθεί και μεταξύ 5,5-8,5. Δεν αποδίδει ικανοποιητικά σε

συνεκτικά εδάφη πολύ υγρά που δεν στραγγίζουν εύκολα (Μπάτζιος και Παλάτος, 2006).

5.6 Στάδια ανάπτυξης του βαμβακόφυτου

Η πορεία ανάπτυξης του φυτού του βαμβακιού για πρακτικούς λόγους μπορεί να διακριθεί σε πέντε βασικά στάδια ανάπτυξης : 1) φύτευμα – εμφάνιση κοτυληδόνων, 2) πρώτη ανάπτυξη – διαμόρφωση της φυτοστοιβάδας 3) σχηματισμός ανθοφόρων οφθαλμών – έναρξη άνθησης , 4) άνθηση – έναρξη καρποφορίας , 5) ανάπτυξη και ωρίμανση καρπών (καρυδιών). Το βαμβάκι είναι φυτό συνεχούς ανάπτυξης (η βλαστική αύξηση συνεχίζεται ενώ εμφανίζονται άνθη και καρποί) οπότε μεταξύ των σταδίων 3,4 και 5 παρουσιάζονται αλληλοεπικαλύψεις . Η εμφάνιση της καλλιέργειας του βαμβακιού σε διάφορα στάδια ανάπτυξης παρουσιάζεται στην Εικόνα 1 (Μπάτζιος και Παλάτος, 2006).



Εικόνα 1 : Στάδια ανάπτυξης Βαμβακόφυτου

5.7. Τεχνική της καλλιέργειας

Αμειψισπορά

Το βαμβάκι δεν έχει απόλυτα την ανάγκη να εναλλάσσεται με άλλες καλλιέργειες στο ίδιο χωράφι. Δεν πειράζει δηλαδή να καλλιεργούμε 2-3 χρόνια βαμβάκι στο ίδιο χωράφι. Είναι όμως χρήσιμο να παρεμβάλλεται μια άλλη καλλιέργεια όταν είναι ανάγκη. Προτιμούμαι την καλλιέργεια σιταριού ή κριθαριού κάθε φορά που το χωράφι έχει γεμίσει από ζιζάνια ή δυσκολεύουν την ανάπτυξη του βαμβακιού.

Κατεργασία του εδάφους

Έχει αποδειχθεί από την πράξη ότι το καλό φύτρωμα του βαμβακιού αποτελεί τη μισή επιτυχία της καλλιέργειας. Ένα καλό όμως φύτρωμα προϋποθέτει μαζί με άλλους παράγοντες και άριστη προετοιμασία του αγρού πριν τη σπορά, πρέπει να γνωρίζουμε ποια είναι η κατάλληλη κατάσταση του εδάφους για τη σπορά του βαμβακιού και πως μπορούμε να το πετύχουμε.

Η πιο κατάλληλη κατάσταση του εδάφους για τη σπορά του βαμβακιού είναι εκείνη κατά την οποία η επιφανειακή στιβάδα έχει ψιλοχωματιστεί με επιτυχία και το χώμα μοιάζει με ψίχουλα ψωμιού.

Με την κατάλληλη προετοιμασία του εδάφους για την σπορά του βαμβακιού επιδιώκουμε πρωίμηση της καλλιέργειας, ικανοποιητική ποιότητα του παραγόμενου προϊόντος και μεγιστοποίηση των αποδόσεων. Στόχος μας πρέπει να είναι πάντα η εκτέλεση μόνο των

απολύτως απαραίτητων καλλιεργητικών εργασιών στον κατάλληλο χρόνο και με τα κατάλληλα εργαλεία.

Αμέσως μετά την συγκομιδή, το φθινόπωρο, κάνουμε στελεχοκοπή και όργωμα. Η στελεχοκοπή εκτός από την συμβολή της στην αντιμετώπιση του ρόδινου σκουληκιού και τη διευκόλυνση του παραχώματος και της αποσύνθεσης των στελεχών, διευκολύνει και στις επόμενες καλλιεργητικές κατεργασίες όπως το όργωμα και η σπορά.

Το όργωμα εξασφαλίζει την καλύτερη αποσύνθεση των υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας, εκθέτει το έδαφος στις καιρικές μεταβολές, διευκολύνει την είσοδο του βρόχινου νερού σε μεγάλο βάθος με αποτέλεσμα την καλύτερη αποταμίευση του και βέβαια καταστρέφει τα ζιζάνια και τα έντομα. Τέλος δημιουργεί καλύτερες συνθήκες αερισμού και βοηθά στην βελτίωση της σύστασης του εδάφους. Όταν κάνουμε ανοιξιάτικο όργωμα προσέχουμε πολύ ώστε το χωράφι να βρίσκεται στον ρώγο του, να έχει δηλαδή την κατάλληλη εδαφική υγρασία, κάτι που θα βοηθήσει πολύ την πορεία της καλλιέργειας.

Πολύ σημαντικό ρόλο στην προετοιμασία του χωραφιού παίζει η καλή αποστράγγιση του. Για το λόγο αυτό ανοίγουμε αυλάκια σε κατάλληλα από πλευράς κλίσης σημεία έτσι ώστε να απομακρύνεται το πλεονάζον νερό και να μη δημιουργούνται προβλήματα νεροκρατήματος τον χειμώνα. Γενικά, θα πρέπει το έδαφος να μην είναι υγρό αλλά ούτε και πολύ στεγνό γιατί τότε δημιουργούνται προβλήματα τα οποία για να αντιμετωπιστούν ανεβαίνει πολύ το κόστος και καταπονείται πολύ το έδαφος λόγω χρήσης των μηχανημάτων.

Σπορά

Η κατάλληλη εποχή για σπορά του βαμβακιού καθορίζεται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Σημαντικό ρόλο για την ακριβή ημερομηνία σποράς παίζουν κυρίως η θερμοκρασία και η υγρασία του εδάφους. Γενικά στη χώρα μας εποχή σποράς του βαμβακιού είναι οι μήνες Απρίλιος και Μάιος.

Το βάθος σποράς εξαρτάται από τη φυσική κατάσταση, την υγρασία και τη θερμοκρασία του εδάφους, την εποχή σποράς και τη χρήση αποχνοωμένου ή όχι σπόρου. Σε ελαφρά, αμμώδη χωράφια, που ζεσταίνονται γρηγορότερα αλλά και χάνουν την υγρασία τους, η σπορά γίνεται στα 6-8 εκ., ενώ στα υγρά αμμοπηλώδη σε 3-4 εκ. Οι αποστάσεις των φυτών πάνω στη γραμμή σποράς και μεταξύ των γραμμών θα πρέπει να είναι τέτοιες που να επιτρέπουν στο φυτό να αξιοποιεί όσο είναι δυνατόν καλύτερα το φως, τον αέρα, την υγρασία και την γονιμότητα του εδάφους (Παπακώστα και Τασοπούλου, 2002).

Στις βαμβακοφυτείες μηχανοσυλλογής οι αποστάσεις μεταξύ γραμμών θα πρέπει να είναι 96 εκ.

Άρδευση

Η μέθοδος άρδευσης επιλέγεται από κάθε βαμβακοκαλλιεργητή ανάλογα με τα αρδευτικά μέτρα που υπάρχουν στην περιοχή, το διαθέσιμο αρδευτικό νερό, τον τύπο του εδάφους, το ανάγλυφο και το σχήμα του χωραφιού, την οργάνωσή του (οικονομική, κοινωνική), πολλές φορές όμως και από την παράδοση της περιοχής.

Οι κυριότεροι τρόποι ποτίσματος είναι : 1. Με αυλάκια, 2. Με τεχνητή βροχή, 3. Με σταγόνα (στάγδην άρδευση).

Λίπανση

Η λίπανση του βαμβακιού γίνεται με αζωτούχα λιπάσματα. Έχει παρατηρηθεί ότι όταν το άζωτο συνδυαστεί με φώσφορο δίνει υψηλές αποδόσεις και καλύτερη ποιότητα βαμβακιού. Χρησιμοποιείται λιπασματοδιανομέας περιστρεφόμενου τύπου και έπειτα δισκοβάρνα για την ενσωμάτωση του λιπάσματος.

Συγκομιδή

Η συγκομιδή του βαμβακιού γίνεται πλέον μηχανικά.

Μηχανοσυλλογή

Το σπουδαιότερο στάδιο της εκμηχάνισης του βαμβακιού είναι η συλλογή. Οι πρώτες προσπάθειες κατασκευής μηχανών βαμβακιού άρχισαν το 1850. Στην αρχή δοκιμάστηκαν απορροφητικές μηχανές ή μηχανές με πεπιεσμένο αέρα. Το τελευταίο επίτευγμα είναι οι σύγχρονες βαμβακοσυλλεκτικές με ατράκτους. Το πλεονέκτημα αυτής της μηχανής είναι το χαμηλό κοστολόγιο και η δυνατότητα συλλογής μετά από βροχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

6.1 Στόχοι παρούσας εργασίας

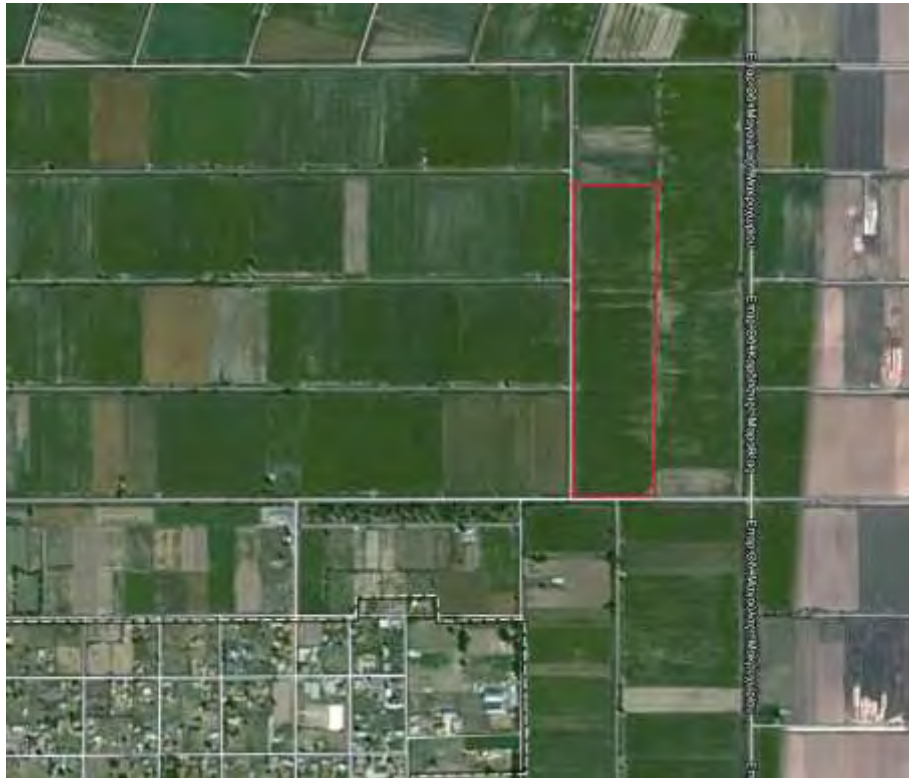
Η καλλιέργεια βαμβακιού είναι μια από τις σημαντικότερες της χώρας και στηρίζει και τη βιομηχανία της κλωστοϋφαντουργίας. Με την αλλαγή της ΚΑΠ και τη μείωση των επιδοτήσεων απαιτούνται τεχνικές που μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση του κόστους παραγωγής με την καλύτερη αξιοποίηση των φυσικών πόρων και περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Η Γεωργία Ακριβείας μπορεί να συμβάλλει προς αυτή τη κατεύθυνση. Για να διερευνηθούν οι συνθήκες που συμβάλλουν στη χρήση της γεωργίας ακριβείας, εκτιμώντας το βαθμό παραλλακτικότητας του αγρού σχεδιάστηκαν και εκτελέστηκαν μια σειρά μετρήσεις.

Οι μετρήσεις έγιναν σε ένα αγροτεμάχιο βαμβακοκαλλιέργειας στην περιοχή του πρώην δήμου Κάμπου στην περιοχή του χωριού Μυρίνη του Νομού Καρδίτσας. Στόχος του πειράματος ήταν να καταγραφεί η παραλλακτικότητα που παρουσίαζε ο αγρός μέσω της μέτρησης του δείκτη ευρωστίας (NDVI), της παραγωγής και στην αντίσταση σε διείδυση του εδάφους. Στόχος ήταν να διερευνηθεί η συσχέτιση των παραμέτρων αυτών με τη παραγωγή και αλλά χαρακτηριστικά της φυτείας και των καλλιεργητικών πρακτικών για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης και εφαρμογή βελτιωμένης διαχείρισης του αγρού με τεχνικές της ΓΑ. Σε πρώτη φάση έγινε μέτρηση της αντίστασης σε διείδυσης του εδάφους, σε βάθος 5-10cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 25-30

cm, 30-35 cm και 0-50 cm από τις οποίες προήλθαν οι χάρτες αντίστασης του εδάφους σε διείσδυση. Έπειτα πραγματοποιήθηκαν τρεις μετρήσεις ευρωστίας εκτιμώντας το δείκτη βλάστησης (NDVI) . Οι χάρτες δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού Surfer (Golden Software, Surfer 8.05. ,2004).

6.2 Περιγραφή πειράματος

Το πείραμα διενεργήθηκε σε έναν αγρό βαμβακιού στην αγροτική περιοχή της Τ.Κ. Μυρίνης του Ν. Καρδίτσας. Ο αγρός που επιλέχτηκε να γίνουν οι μετρήσεις είναι συνολικής έκτασης 50 στρεμμάτων, από τα οποία, τη χρονιά εκείνη, τα 43 καλλιεργήθηκαν με βαμβάκι. Ο αγρός φαίνεται στο Σχήμα 6.2. Έγινε χαρτογράφηση της ευρωστίας των φυτών με μέτρηση του δείκτη βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI), 3 φορές κατά την καλλιεργητική περίοδο 2012-2013, καθώς επίσης και εκτίμηση της συμπίεσης του εδάφους με μέτρηση της αντίστασης σε διείσδυση του εδάφους.



Σχήμα 6.2.1: Δορυφορική απεικόνιση του αγροτεμαχίου

6.3 Μετρήσεις

6.3.1. Μέτρηση NDVI

Για τη χαρτογράφηση της ευρωστίας των φυτών NDVI χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας Cropcircle ACS-210 (Holland Scientific, USA, Εικόνα 6.3.1.1.). Ο αισθητήρας αυτός συγκαταλέγεται στην κατηγορία των ενεργών αισθητήρων γιατί χρησιμοποιεί δική του πηγή φωτός. Από τον αισθητήρα εκπέμπεται φώς (ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία) που προσομοιάζει τη φωτεινότητα του ηλίου. Καθώς η ακτινοβολία προσπίπτει πάνω στη μελετώμενη επιφάνεια, μέρος αυτής απορροφάται από το αντικείμενο, άλλο μέρος της διέρχεται διαμέσου της επιφάνειας και το υπόλοιπο μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται. Ο αισθητήρας έχει τοποθετημένους δυο δέκτες οι οποίοι μετράνε την ανακλώμενη από την

επιφάνεια ακτινοβολία. Ο κάθε δέκτης μετράει ένα σταθερό εύρος μήκους κύματος από την ανακλώμενη ακτινοβολία χρησιμοποιώντας φίλτρα ακτινοβολίας. Για την ακρίβεια μετρά την ανακλώμενη ακτινοβολία που αντιστοιχεί στην κόκκινη περιοχή (584- 600nm) και στην περιοχή του κοντινού υπέρυθρου (870-890nm).



Εικόνα 6.3.1.1. Αισθητήρας CropCircle με τα παρελκόμενά του

Ο αισθητήρας Cropcircle λειτουργεί με δική του επαναφορτιζόμενη μπαταρία ενώ μπορεί να συνδεθεί με κεραία GPS για καταγραφή των γεωγραφικών συντεταγμένων των σημείων όπου γίνονται οι μετρήσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο αισθητήρας έχει δικό του επεξεργαστή ο οποίος κάνει διάφορους υπολογισμούς. Δέχεται επίσης κάρτα αποθήκευσης τύπου SD για την άμεση αποθήκευση των μετρήσεων.

Το αρχείο το οποίο δημιουργεί ο υπολογιστής του αισθητήρα έχει επέκταση .xls και μπορεί να διαβαστεί στο λογισμικό Microsoft Excel. Οι πιο σημαντικές πληροφορίες οι οποίες καταγράφονται στο αρχείο είναι:

- Συντεταγμένες
- Ποιότητα σήματος GPS
- Ωρα δειγματοληψίας
- Δείκτης NDVI
- Ανακλώμενη ακτινοβολία που αντιστοιχεί στην κόκκινη περιοχή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.
- Ανακλώμενη ακτινοβολία που αντιστοιχεί στην περιοχή του κοντινού υπέρυθρου της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Ο δείκτης NDVI εκφράζει την ευρωστία των φυτών. Οι μετρήσεις του πειράματος ξεκίνησαν τον Μάιο και ολοκληρώθηκαν τον Σεπτέμβριο. Οι μήνες αυτοί επιλέχτηκαν καθώς τότε υπάρχουν φύλλα με ικανοποιητικό μέγεθος στο βαμβάκι. Ο αισθητήρας CropCircle κρατιόνταν με το χέρι και η σάρωση γινόταν πάνω στην γραμμή με σταθερή ταχύτητα βαδίσματος σε απόσταση περίπου 25cm από το φυτό. Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε ανά 10 σειρές. Σημειώνεται ότι η απόσταση μεταξύ των σειρών βαμβακιού ήταν 96cm.

6.3.2. Αντίσταση στη διείσδυση

Η αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση μετρήθηκε με τη χρήση ενός κωνικού διεισδυσιόμετρου (soil penetrometer) τύπου Bush SP1000. Το διεισδυσιόμετρο αποτελείται από μια χαλύβδινη ράβδο διαμέτρου 9.53 mm που καταλήγει σε ένα κώνο. Ο κώνος έχει εμβαδόν βάσης 130 mm², διάμετρο 12,83 mm και γωνία κορυφής 30°. Ο κώνος πιεζόταν χειρονακτικά στο έδαφος με ένα ρυθμό περίπου 30 mm/s (ASABE 2009) και μπορούσε να εισχωρήσει ως και 50 cm μέσα στο έδαφος. Η ράβδος συνδέεται με μια δυναμοκυψέλη για την καταγραφή της δύναμης που ασκείται στο κώνο για την εισχώρηση από την οποία εκτιμάται η πίεση

διείσδυσης του εκφρασμένη σε MPa. Το βάθος διείσδυσης του κώνου μετράται από ένα φωτοκύτταρο μέσω των διόδων φωτός που υπάρχουν στη ράβδο σε διάστημα μίας in(25.4mm). Όλα τα στοιχεία καταγράφονται σε ένα ηλεκτρονικό καταγραφέα δεδομένων που υπάρχει στο διεισδυσιόμετρο. Το στίγμα της κάθε μέτρησης καταγράφηκε από ένα GPS τύπου GARMIN .

Η μέτρηση πραγματοποιήθηκε σε ένα πλέγμα (grid) 15x27 μέτρα. Σε κάθε σημείο του πλέγματος των 15x27 μέτρων λήφθηκαν 4 σετ μετρήσεων και χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος τους για τον καθορισμό της αντίστασης σε κάθε εκατοστό βάθους του σημείου αναφοράς. Οι θέσεις των τεσσάρων μετρήσεων απείχαν 5 μέτρα προς κάθε σημείο του ορίζοντα από το σημείο αναφοράς του πλέγματος. Αυτό σημαίνει ότι στην κατεύθυνση ανατολή-δύση πάρθηκαν 6 μετρήσεις ανά 27 μέτρα και στην κατεύθυνση βοράς-νότος 19 δείγματα ανά 15 μέτρα. Η μέτρηση πάρθηκε στις 30-4-2012, δύο μέρες μετά το όργωμα του χωραφιού. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν περίπου στο ενδιάμεσο μεταξύ των σειρών, στο $\frac{1}{4}$ των 96cm (23cm από την σειρά), ώστε να μην υπάρχει συμπίεση εδάφους από την χρήση των γεωργικών μηχανημάτων των προηγούμενων ετών. Το μέγεθος της αντίστασης σε διείσδυση εκφράζεται σε Mpa. Μόλις ολοκληρώθηκε η διαδικασία καταγραφής της αντίστασης του εδάφους συνδέσαμε το διεισδυσιόμετρο με ένα προσωπικό υπολογιστή και μεταφέραμε το αρχείο excel το οποίο περιέχει τις τιμές αντίστασης εκφρασμένες σε Mpa. Για κάθε στίγμα αντιστοιχούν 50 τιμές, δηλαδή μια τιμή για κάθε ένα εκατοστό διείσδυσης στο έδαφος. Για την καλύτερη απεικόνιση των τιμών αντίστασης στο χώρο δημιουργήσαμε επτά χάρτες με βάση το βάθος καταγραφής, ένα χάρτη 0-50 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-25 cm και ένα στα 30-35 cm. Για την κατασκευή του χάρτη χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό surfer

(Golden Software, Surfer 8.05., 2004) επιλέγοντας σαν δεδομένα τις συντεταγμένες και τον μέσο όρο των τιμών σε κάθε βάθος.



Εικόνα 6.3.1. Διεσδυσιόμετρο soil penetrometer Bush SP1000 το οποίο έχει εισχωρήσει 50 cm.

6.4 Μέτρηση παραγωγής

Η παραγωγή σε ένα αγρό, παρόλο που έχει ένα μέσο όρο, δεν είναι η ίδια σε όλη την επιφάνεια του αγρού. Διάφοροι παράγοντες, όπως η ανομοιομορφία του εδάφους συμβάλλουν στο να υπάρχουν μεγάλες διαφορές στην παραγωγή σε αποστάσεις μερικών δεκάδων μέτρων. Η διαφορά στην παραγωγή βαμβακιού ανάμεσα σε διαφορετικά σημεία ενός αγρού μπορεί να είναι ακόμα και 250 Kg/στρ.

Η διαδικασία σημειακής μέτρησης της παραγωγής και στη συνέχεια η δημιουργία χαρτών παραγωγής για ένα αγρό είναι πολύ βασική στην Γεωργία Ακριβείας.

Για την μέτρηση της παραγωγής βαμβακιού χρησιμοποιήθηκε η εξής διάταξη συσκευών, η οποία τοποθετήθηκε στη βαμβακοσυλλεκτική μηχανή :

1. Κεντρική μονάδα ελέγχου
2. Αισθητήρας παραγωγής
3. Συσκευή εντοπισμού θέσης (GPS)
4. Αισθητήρας ταχύτητας
5. Αισθητήρας ON/OFF

Περιγραφή των τμημάτων

1. Κεντρική μονάδα ελέγχου. Η μονάδα είναι τοποθετημένη στην καμπίνα της βαμβακοσυλλεκτικής, έχει οθόνη για την παρακολούθηση και τη διαχείριση της διαδικασίας, καθώς και μονάδα αποθήκευσης σε κάρτα SD.
2. Ο αισθητήρας παραγωγής αποτελείται από δύο μέρη :πομπός και δέκτης υπέρυθρης ακτινοβολίας. Ο πομπός και ο δέκτης τοποθετούνται αντικριστά στον σωλήνα που οδηγεί το βαμβάκι στο καλάθι της μηχανής. Δημιουργούν μία δέσμη υπέρυθρης ακτινοβολίας η οποία διακόπτεται από το βαμβάκι που περνά μέσα από το σωλήνα.


Για τον υπολογισμό της παραγωγής βαμβακιού απαιτείται η ρύθμιση του παράγοντα μετατροπής (από όγκο σε μάζα) της συσκευής. Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης συσκευής είναι ότι ο υπολογισμός του παράγοντα μετατροπής μπορεί να γίνει και στο τέλος των μετρήσεων. Ο υπολογισμός του παράγοντα μετατροπής επηρεάζεται από παράγοντες όπως η υγρασία, τα ξένα σώματα, κλπ.

3. Η συσκευή εντοπισμού θέσης (GPS) υπολογίζει τις συντεταγμένες της θέσης της μηχανής και επομένως τη ακριβή θέση που έχει υπολογιστεί η σημειακή παραγωγή βαμβακιού.
4. Ο αισθητήρας ταχύτητας τοποθετείται στον άξονα μεταφοράς της κίνησης στους τροχούς. Η λειτουργία του μπορεί να θεωρηθεί και περιττή λόγω της ύπαρξης του GPS.
5. Ο Αισθητήρας ON/OFF τοποθετείται στην βάση των ψαλιδιών και αναγνωρίζει τότε γίνεται η συλλογή (ψαλίδια κατεβασμένα). Με

αυτό τον τρόπο αποφεύγονται τα σφάλματα, αφού δεν γίνονται μετρήσεις όταν δεν γίνεται συλλογή βαμβακιού.



Φώτο 1. Κεντρική Μονάδα Ελέγχου

39°24.9505'N - 21°58.3476'E		16:16	
YIELD	2678	LOAD	1.68
	KG/HA	3	TONNES
SOARI1	6.48		2.80
	TONNES		HA
TOTAL	297.57		126.95
	TONNES		HA
SPEED	6.4	MEMORY	
	KM/HA		
PREV ZIZAN LANDY S100R TAG 4 NEXT			

Φώτο 2. Οθόνη Κεντρικής Μονάδας Ελέγχου



Φώτο 3. Πομπός και δέκτης υπέρυθρων αισθητήρων που εγκαθίστανται στο σωλήνα μεταφοράς του βαμβακιού προς το καλάθι.

6.5 Εδαφοκλιματικές συνθήκες

Η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους είναι : άργιλος 15-20 %, άμμος 50-60 %, ιλύς 25-30%.

Το έδαφος είναι αμμοπηλώδες (Sandy Loam) μετρίως χονδρόκοκκο. Είναι μέσης σύστασης έδαφος, έχει καλή στράγγιση, οι ρίζες αερίζονται επαρκώς αλλά δεν συγκρατεί πολλά θρεπτικά στοιχεία. Επομένως χρειάζεται συχνό πότισμα και λίπανση.

Τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής ελήφθησαν από τον μετεωρολογικό σταθμό της λίμνης Πλαστήρα. Το κλίμα της περιοχής παρότι κατατάσσεται στα μεσογειακά, έχει και χαρακτηριστικά που προσομοιάζουν με εκείνα του ηπειρωτικού κλίματος. Βροχοπτώσεις σημειώνονται κυρίως το Φθινόπωρο και λιγότερες την Άνοιξη και το Χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι είναι ξηρό. Ο μέσος όρος θερμοκρασίας του καλοκαιριού είναι 25,6 ο C και του χειμώνα είναι 6,1ο C. Ο Ιανουάριος είναι ο πιο ψυχρός μήνας με θερμοκρασία 4,9 ο C, ενώ ο Ιούλιος είναι ο πιο θερμός μήνας με θερμοκρασία 26,6 ο C. Ο ετήσιος μέσος όρος θερμοκρασίας είναι 15,7 ο C. Το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης υπολογίζεται στα 470mm, από τα οποία το 25% πέφτει την περίοδο Σεπτέμβριος - Νοέμβριος και το 32% την περίοδο Δεκέμβριο - Φεβρουάριο. Περίπου το 27% της βροχόπτωσης πέφτει την Άνοιξη.

6.6 Διαδικασία πειράματος

Οι μετρήσεις του NDVI πραγματοποιήθηκαν με το Cropcircle ACS-210 (Holland Scientific, USA), ενώ η αντίσταση στην διείσδυση με το διεισδυσιόμετρο soil penetrometer Bush SP1000.

Η προετοιμασία του αγρού ξεκίνησε στις 28-4-2012 με καταστροφή των υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας (βαμβακιού) με δισκοβάρνα. Στην συνέχεια έγινε όργωμα σε βάθος 35cm με αναστρεφόμενο άροτρο. Ακολούθησε η κατεργασία του εδάφους με ψιλοχωμάτιασμα με περιστροφικό καλλιεργητή. Έγιναν δύο εφαρμογές ώστε να προετοιμαστεί καλύτερα η σπορική κλίση. Μεταξύ των δύο εφαρμογών έγινε και η ενσωμάτωση του ζιζανιοκτόνου με την δραστική ουσία Pendimethalin (Stomp). Όλη η κατεργασία του χωραφιού έγινε την ίδια μέρα από τον παραγωγό. Η ποικιλία που επιλέχτηκε ήταν η Celia της Bayer.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εκτέλεση του πειράματος ήταν η εξής:

- 1) Αντίσταση στη διείσδυση: Πραγματοποιήθηκε δύο μέρες μετά τις εδαφοκατεργασίες στις 30/04/2012 με το διεισδυσιόμετρο soil penetrometer Bush SP1000.
- 2) Μέτρηση ευρωστίας φυτών NDVI: πραγματοποιήθηκαν τρεις μετρήσεις στις 29/5/2012, 10/7/2012 και στις 1/9/2012. Από τις μετρήσεις οι οποίες ελήφθησαν κατά την διάρκεια του καλοκαιριού χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες των σημείων και τα δεδομένα του δείκτη NDVI.

3) Μέτρηση παραγωγής (πραγματοποιήθηκε από τον παραγωγό το προηγούμενο έτος και χρησιμοποιήθηκε για την καλύτερη ανάλυση των δεδομένων).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αποτυπώθηκαν σε χάρτες με το λογισμικό Surfer. Με αυτόν τον τρόπο έγινε η χαρτογράφηση της ευρωστίας των φυτών στον αγρό.

6.7 Περιγραφή μετρήσεων

Οι μετρήσεις της ευρωστίας των φυτών πραγματοποιήθηκαν κατά την διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού. Όπως αναφέρθηκε ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο CropCircle. Σκοπός της χρήσης αυτού του αισθητήρα ήταν η σάρωση των φύλλων της βαμβακοκαλλιέργειας για να υπολογιστεί ο δείκτης NDVI των φυτών. Ο δείκτης αυτός δείχνει πόσο πράσινο είναι και κατ' επέκταση και πόσο χλωροφύλλη έχει ένα φυτό.

Ο NDVI υπολογίζεται από τη σχέση:

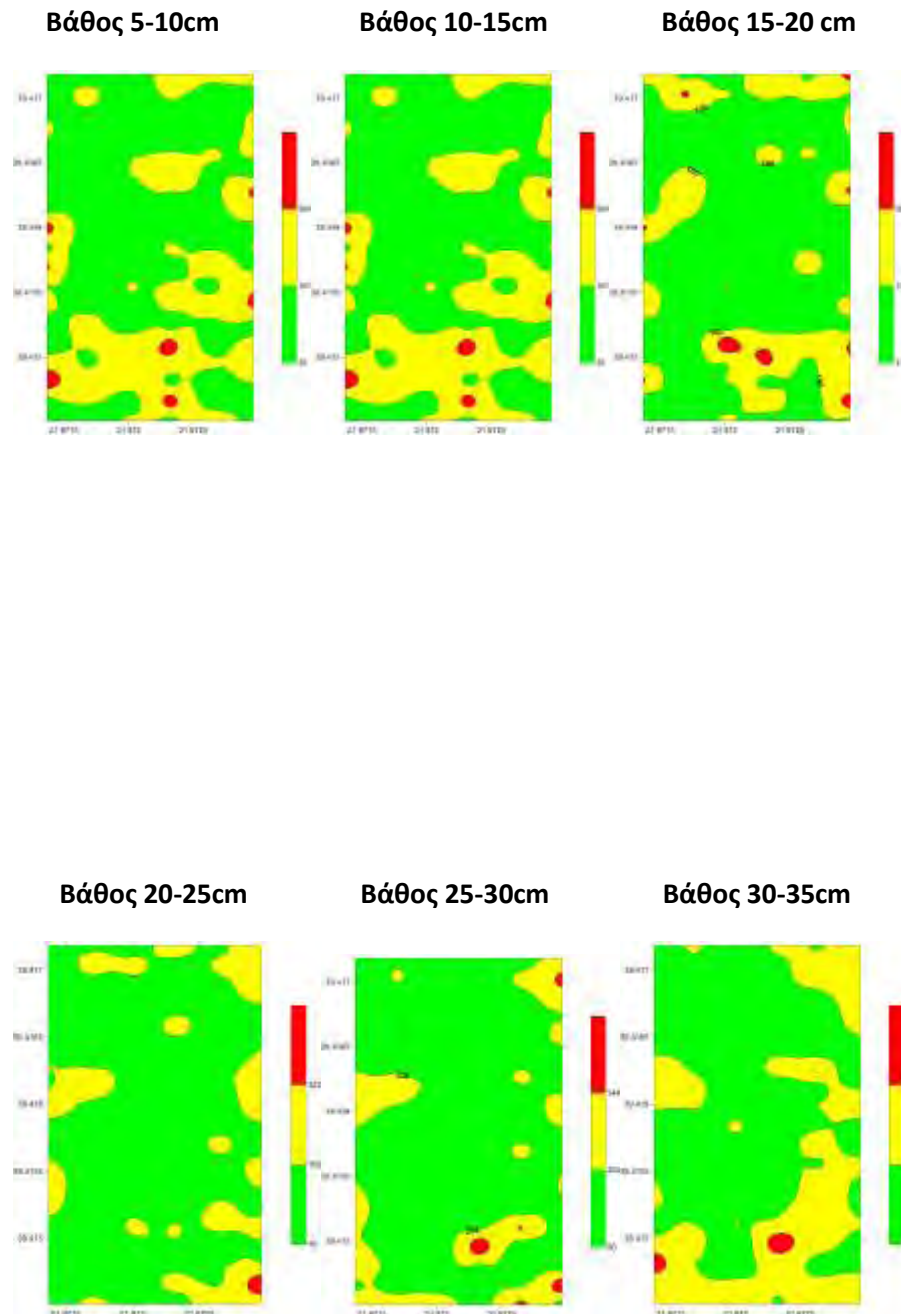
$NDVI = (IR + R) / (IR - R)$, όπου IR η ανακλώμενη ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο, ανακλώμενη ακτινοβολία στην κόκκινη περιοχή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Οι τιμές που λαμβάνει ο δείκτης αυτός είναι από 0 έως 1 και εκφράζουν πόσο πράσινο είναι το φυτό. Η τιμή κοντά στο 1 υποδηλώνει ότι αυτά είναι πολύ πράσινα και επομένως υγιή. Η τιμές μικρότερες από 0,1 φανερώνουν γυμνό έδαφος, τιμές από 0,1 έως 0,2 υποδηλώνουν αραιή

βλάστηση επίσης. Τέλος, δείκτης βλάστησης μεγαλύτερος από τιμή 0,4 σημαίνει ότι υπάρχει πυκνή και υγιής βλάστηση.

Για όλα τα δεδομένα οι μετρήσεις είχαν καταχωρηθεί αρχικά σε xls αρχεία.

Στη συνέχεια τα αρχεία αυτά εισήχθησαν στο λογισμικό surfer και δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα Data files.



Εικόνα 7.2 Χάρτες αντίστασης διείσδυσης εδάφους ανά 5cm βάθος

Η χαρτογράφηση της συμπίεσης πραγματοποιήθηκε όπως προαναφέρθηκε πιο επάνω με το soil penetrometer Bush SP1000 .

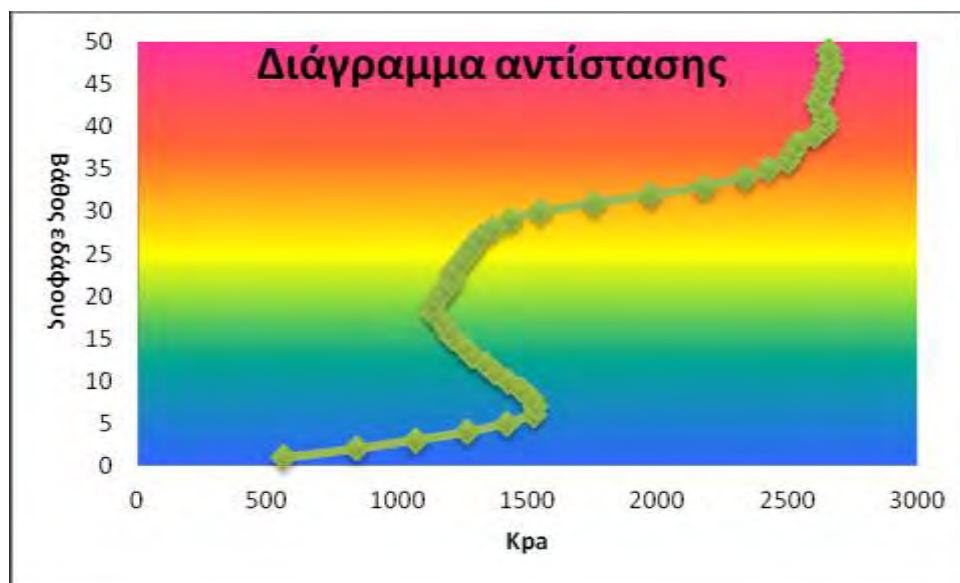
Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 114 μετρήσεις. Το διεισδυσιόμετρο κατέγραφε την αντίσταση ανά ένα εκατοστό βάθος εδάφους. Δημιουργήσαμε 7 χάρτες αντίστασης , ένας στα 0-50 cm και έξι υπόλοιποι ανά 5 εκατοστά εδάφους.

Ο πρώτος χάρτης (εικόνα 7.1) απεικονίζει την αντίσταση στα 50 εκατοστά βάθος εδάφους και όπως παρατηρούμε (πίνακα 7.1) το 32,5% (37 μετρήσεις) καταγράφει τιμές 0,995-1,5 Mpa, το 48,2% (55 μετρήσεις) καταγράφει τιμές από 1,5-2 Mpa, ενώ μόλις το 19,3% (22 μετρήσεις) καταγράφει τιμές πάνω από 2 Mpa. Συμπερασματικά μόλις το 19,3 % του χωραφιού που βρίσκετε κυρίως νότια (κόκκινο χρώμα) έχει αντίσταση στην συμπίεση πάνω από 2 Mpa , το οποίο επηρεάζει την ανάπτυξη των ριζών. Το υπόλοιπο τμήμα (80,7%) δεν επηρεάζει την ανάπτυξη των ριζών του φυτού.

Οι επόμενοι χάρτες απεικονίζουν την αντίσταση ανά 5 εκατοστά βάθος εδάφους και όπως παρατηρούμε οι αντιστάσεις εδάφους είναι πάρα πολύ μικρές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι μετρήσεις πάρθηκαν μια εβδομάδα μετά την κατεργασία του χωραφιού, όπου έγινε όργωμα του χωραφιού στα 35 εκατοστά.

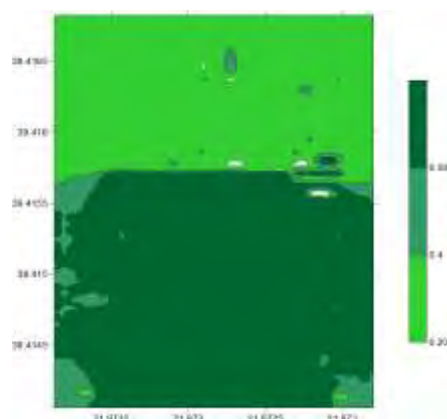
7.2 Διάγραμμα αντίστασης

Το διαγραμμα αντίστασης του εδάφους (εικόνα 7.2.1) σε σχέση με το βάθος εδάφους έγινε σε υπολογιστικό φύλλο του excel. Ο οριζόντιος άξονας απεικονίζει την αντίσταση στη διείσδυση του εδάφους εκφρασμένη σε Kpa., ενώ ο κάθετος άξονας το βάθος του εδάφους που καταγράφηκε η ένδειξη εκφρασμένη σε εκατοστά. Οι τιμές για κάθε ένα cm προέκυψαν από τον υπολογισμό του μέσου όρου της αντίστασης που αντιστοιχεί σε όλη την έκταση. Π.χ η αντίσταση στο πρώτο εκατοστό της συνολικής έκτασης κοκ. Όπως βλέπουμε στο διάγραμμα η τάση είναι ανοδική, δηλαδή όσο αυξάνεται το βάθος εδάφους, τόσο αυξάνει και η αντίσταση στη διείσδυση και ειδικότερα παρατηρούμε ότι από τα 35 εκατοστά και έπειτα η αντίσταση ξεπερνά τα 2000 Kpa που είναι περιοριστικός παράγοντας για την αύξηση της ρίζας.



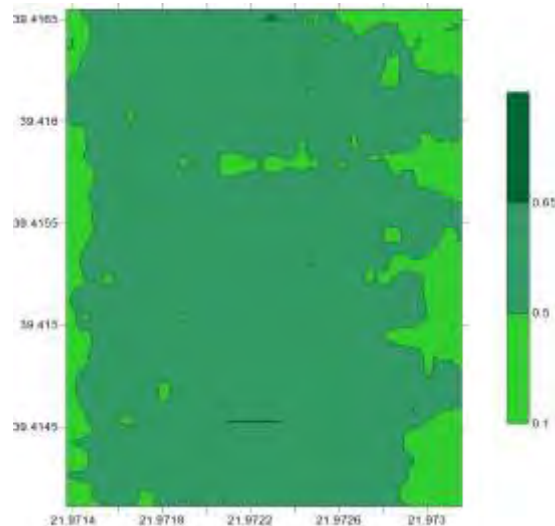
Εικόνα 7.2.1 Διάγραμμα αντίστασης εδάφους

7.3 Χαρτογράφηση ευρωστίας φυτών

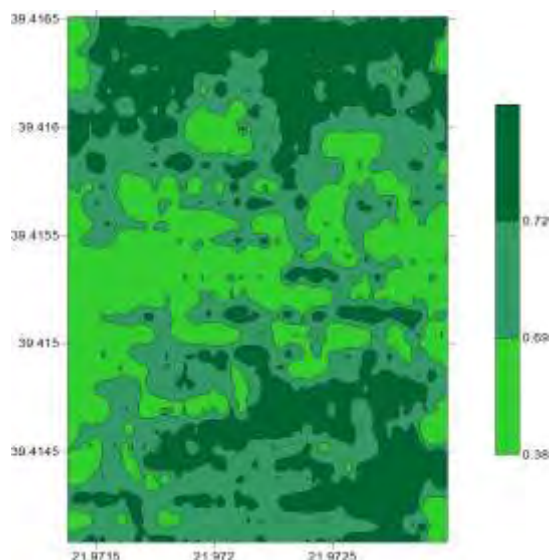


Εικόνα 7.3.1 Μέτρηση δείκτη βλάστης NDVI στις 29-5-2012.

Στην εικόνα της ανάκλασης (Εικόνα 7.3.1) φαίνεται μια απότομη μεταβολή μεταξύ του βορείου και νοτίου τμήματος του χωραφίου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι την προηγούμενη της μέτρησης είχε ολοκληρωθεί η άρδευση του νοτίου τμήματος. Είναι αξιοσημείωτη η συμπεριφορά της φυτείας και η άμεση ανταπόκρισή της αυξάνοντας την ανάκλαση του φυλλώματος στο υπέρυθρο (πάνω από 50% αύξηση του δείκτη). Το βόρειο κομμάτι άρχισε να αρδεύεται την ημέρα της μέτρησης. Αυτή η ανομοιομορφία των συνθηκών κάτω από τις οποίες έγινε η μέτρηση στις 29 Μαΐου μας οδηγεί να εξαιρέσουμε τον χάρτη αυτό από τη μελέτη στη συνέχεια της ανάλυσης.



Εικόνα 7.3.2 Μέτρηση δείκτη βλάστησης NDVI στις 10-7-2012



Εικόνα 7.3.3 Μέτρηση δείκτη βλάστησης NDVI στις 1-9-2012

Παρατηρώντας τους παραπάνω χάρτες γίνεται εύκολα αντιληπτό πως σε κάθε χάρτη υφίσταται χωρική παραλλακτικότητα του δείκτη NDVI άλλοτε μεγαλύτερη και άλλοτε μικρότερη. Στο χάρτη του Σεπτεμβρίου (Εικόνα 7.3.3) μάλιστα εμφανίζεται η εντονότερη χωρική παραλλακτικότητα.

Παράλληλα εμφανίζεται και έντονη χρονική παραλλακτικότητα. Στην μέτρηση του δείκτη βλάστησης στα μέσα Ιουλίου (Εικόνα 7.3.2) χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται κυρίως στα Δυτικά και Ανατολικά του χωραφιού, στα ακριανά τμήματα του αγρού. Αυτό κατά πάσα πιθανότητα, οφείλεται στον τρόπο ποτίσματος του αγρού (με βέργα) καθώς και στην κακή διασπορά των λιπασμάτων (λόγο των συχνών γυρισμάτων του ελκυστήρα στα κεφαλάρια κατά την διασπορά). Στο υπόλοιπο μέρος του χωραφιού οι τιμές του δείκτη βλάστησης είναι ιδιαίτερα υψηλές (0,5-0.65), που αυτό σημαίνει υγιή και ζωνρά φυτά. Επιπλέον επειδή η ανατολή και η δύση γειτνιάζει με γυμνό έδαφος, τα φυτά είναι περισσότερο εκτεθειμένα στο φως του ηλίου αλλά και στα ζιζάνια με αποτέλεσμα την έλλειψη εδαφικής υγρασίας και την εμφάνιση τροφοπενίας λόγω έλλειψης των θρεπτικών συστατικών του εδάφους.

Τον μήνα Σεπτέμβριο (Εικόνα 7.3.3) έχουμε σχεδόν σε όλο τον αγρό υψηλές τιμές του δείκτη βλάστησης. Αυτό οφείλεται κατά πάσα πιθανότητα στις αρκετές βροχές που έπεσαν κατά τον μήνα Αύγουστο

διατηρώντας την υγρασία του χωραφιού σε υψηλά επίπεδα ευνοώντας την ανάπτυξη του δείκτη βλάστησης. Χαμηλότερες τιμές παρουσιάζονται στο κεντρικό μέρος του χωραφιού και αυτό ίσως να οφείλεται στην εδαφική σύσταση του εδάφους με αποτέλεσμα να μην μπορεί να συγκρατήσει αρκετή υγρασία.

Στον πίνακα 7.1 παρουσιάζονται τα περιγραφικά στατιστικά (μέση τιμή, ελάχιστη τιμή, μέγιστη τιμή, τυπική απόκλιση, δείκτης παραλλακτικότητας) του δείκτη NDVI στις διάφορες χρονικές περιόδους των μετρήσεων. Οι τιμές του δείκτη παραλλακτικότητας είναι πολύ χαμηλές μιας και η διαφοροποίηση των τιμών του NDVI είναι πολύ μικρή λόγω του μικρού εύρους τιμών του δείκτη (0 έως 1). Επίσης από την παρατήρηση των παρακάτω αποτελεσμάτων βλέπουμε ότι η μέση τιμή του δείκτη NDVI αυξάνεται ανάμεσα από τα τέλη του Ιουνίου μέχρι τα μέσα Ιουλίου, ενώ στις μετρήσεις του Σεπτεμβρίου έχουμε μια μικρή μείωση. Αυτό μάλλον οφείλεται στο γεγονός ότι η φυτεία μπαίνει στο τελικό στάδιο του βιολογικού της κύκλου και έχουμε γήρανση των φυτών και των φύλλων, έχουν ολοκληρωθεί οι αρδεύσεις και κατά συνέπεια ο δείκτης NDVI που μετρήθηκε ήταν μειωμένος.

Στον πίνακα 7.2 παρουσιάζονται τα μετεωρολογικά δεδομένα κατά την περίοδο της ανάπτυξης των φυτών και κατά την περίοδο που έγιναν οι μετρήσεις στον αγρό. Από τον πίνακα 7.2 προκύπτει για το 2012 ότι ο μήνας Μάιος χαρακτηρίστηκε από χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλές βροχοπτώσεις που δεν βοηθούν τη λειτουργία του φυτού και οδηγούν στην οψίμιση της καλλιέργειας. Οι μήνες Ιούνιος και Ιούλιος χαρακτηρίστηκαν από υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλό ύψος βροχόπτωσης. Οι υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με την συστηματική άρδευση του χωραφιού από τον παραγωγό οδήγησαν σε υψηλό δείκτη βλάστησης. Το μήνα Αύγουστο προέκυψαν οι υψηλότερες

θερμοκρασίες και υψηλά ύψη βροχόπτωσης. Το γεγονός αυτό φαίνεται ότι είναι ίσως μια εξήγηση για τον υψηλό δείκτη βλάστησης που εμφανίζονται στις περιοχές βόρεια και νότια του χωραφιού κατά τον μήνα Σεπτέμβριο. Οι καλές θερμοκρασίες του Σεπτεμβρίου ευνόησαν θετικά τις ζώνες με υψηλό δείκτη βλάστησης διότι βοήθησαν τα φυτά να ολοκληρώσουν παρόλο που ήταν σχετικά όψιμα λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που παρατηρηθήκαν κατά τον μήνα Μάιο. Από την άλλη οι σημαντικές βροχοπτώσεις του Σεπτεμβρίου έδρασαν αρνητικά στις περιοχές του χωραφιού με χαμηλό δείκτη βλάστησης, διότι τα φυτά έχουν ολοκληρώσει τον βιολογικό τους κύκλο και έχουν μπει στο στάδιο ανοίγματος των καρυδιών, κατά συνέπεια στις περιοχές αυτές επηρεάζεται τόσο η ποσότητα τόσο και η ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Πίνακας 7.1 Περιγραφικά στατιστικά στοιχεία NDVI

	29/5	10/7	1/9
Αριθμός δεδομένων	5034	5017	4972
Ελάχιστη τιμή	0,1806	0,258	0,301
Μέγιστη τιμή	0,65	0,8	0,778
Διάμεσος	0,5145	0,735	0.712
Μέσος	0.5138	0.730	0.701
Τυπική απόκλιση	0.0268	0.028	0.044
CV %	4,3	7,6	13,8

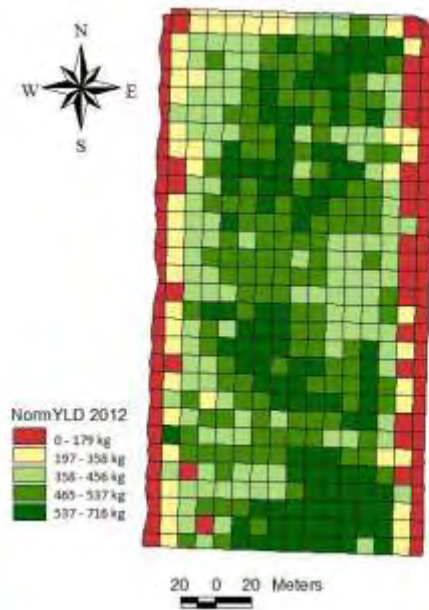
Πίνακας 7.2 Μετεωρολογικά δεδομένα Μαΐου-Σεπτεμβρίου 2012

Μήνας	Θερμοκρασία ο C M.O	MAX ο C	MIN ο C	Rain (mm)
Μάιος	14,6	24,7	6,3	68,6
Ιούνιος	21,7	32,6	12,2	8,6
Ιούλιος	25,0	37,4	15,2	0,2
Αύγουστος	23,4	35,4	14,1	54,3
Σεπτέμβριος	18,9	30,7	9,0	30,1

7.4 Χαρτογράφηση παραγωγής

Η χρονιά που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις (2012), δεν έγινε από τον παραγωγό η χαρτογράφηση της παραγωγής. Γι αυτό πήραμε τις μετρήσεις του προηγούμενου έτους (2011) για να δούμε εάν έχουμε συσχετίσεις.

Η παρεμβολή (interpolation) έγινε με GIS και έχει γίνει η αναγωγή τους σε στοιχειώδη τεμάχια πλάτους 10 x10. Η μέση παραγωγή για το 2011 ανά στρέμμα ήταν 358 kg. Με κόκκινο και κίτρινο χρώμα παρατηρούμε (Εικόνα 7.4.1) τις χαμηλές παραγωγές. Με πράσινο χρώμα έχουμε τις ζώνες με υψηλές παραγωγές. Φαίνεται ότι στις ζώνες με υψηλή παραγωγή, την επόμενη χρονιά έχουμε υψηλές τιμές NDVI.



Εικόνα 7.4.1 Χαρτογράφηση παραγωγής για το έτος 2011

7.5 Συσχετίσεις Χωρικών Δεδομένων

	R_ 0-50	R_ 30-35	R_ 25-30	R_ 20-25	R_ 15-20	R_ 10-15	R_ 5-10	Ndvi 10/7	Ndvi 1/9	Παραγωγή Yield
R_ 0-50	1									
R_ 30-35	0,59	1								
R_ 25-30	0,62	0,77	1							
R_ 20-25	0,46	0,51	0,78	1						
R_ 15-20	0,55	0,42	0,54	0,70	1					
R_ 10-15	0,59	0,37	0,35	0,36	0,62	1				
R_ 5-10	0,61	0,40	0,34	0,36	0,40	0,76	1			
Ndvi 10/7	-0,29	-0,11	-0,17	-0,16	-0,16	-0,07	-0,12	1		
Ndvi 1/9	0,02	0,00	-0,13	-0,16	0,02	0,01	-0,13	0,18	1	
Παραγωγή ή Yield	-0,37	-0,31	-0,29	-0,29	-0,28	-0,25	-0,33	0,58	0,35	1

Πίνακας 7.4.1 Συσχέτιση χωρικών δεδομένων

Σύμφωνα με τους Martin et al. (2005) η εύρεση κάποιων χαρακτηριστικών των φυτών που να προβλέπουν την μελλοντική παραλλακτικότητα της παραγωγής είναι πολύ σημαντική. Με αφορμή αυτήν την διαπίστωση έγινε συσχέτιση μεταξύ του δείκτη NDVI με την αντίστοιχη παραγωγή του προηγούμενου έτους. Επίσης έγινε συσχέτιση μεταξύ της αντίστασης της διείδυσης του εδάφους με την παραγωγή του προηγούμενου έτους.

Τέλος έγινε συσχέτιση μεταξύ του δείκτη βλάστησης NDVI με την αντίσταση στη διείδυση του εδάφους.

Για την συσχέτιση χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson. Ο συντελεστής συσχέτισης παίρνει τιμές στο διάστημα μεταξύ $\{-1,1\}$. Οι

τιμές στο διάστημα $\{0, 0,3\}$ ορίζουν ασθενή γραμμική σχέση των δύο μεταβλητών, στο διάστημα $\{0,3, 0,6\}$ μια μεσαία και στο διάστημα $\{0,6, 1\}$ μια ισχυρή γραμμική σχέση. Το πρόσημο του συντελεστή αποδεικνύει τη φύση της σχέσης (+) θετική και (-) αρνητική.

Τα αποτελέσματα της αντίστασης διείσδυσης στα διάφορα βάθη φαίνεται να συσχετίζονται περισσότερο με τον δείκτη βλάστησης του Ιουλίου και λιγότερο με αυτόν του Σεπτεμβρίου. Η συσχέτιση τους είναι όμως αρνητική. Αυτό είναι σύμφωνο και είναι αναμενόμενο διότι σύμφωνα με την Γεωπονική Επιστήμη, όσο πιο συμπιεσμένο είναι το έδαφος τόσο λιγότερο εύρωστη θα είναι η φυτεία που καλλιεργείτε σε αυτό και η μεγαλύτερη επιρροή θα είναι στην κορυφή του βιολογικού κύκλου των φυτών, που για το βαμβάκι εμφανίζεται κατά τα τέλη Ιουλίου. Άλλωστε ο Ιούλιος απέχει μικρότερο χρονικό διάστημα από το χρονικό σημείο της μέτρησης της αντίστασης διείσδυσης εδάφους (30-5-2012) σε σχέση με το Σεπτέμβριο, επομένως η πιθανότητα να έχουν μεσολαβήσει και άλλες καλλιεργητικές και φυσικές διαδικασίες που μεταβάλλουν την κατάσταση του εδάφους είναι μεγαλύτερη.

Όσο αφορά την συσχέτιση μεταξύ δείκτη βλάστησης NDVI και παραγωγής (προηγούμενου έτους 2011), παρατηρείτε ισχυρή θετική συσχέτιση ($R=0,58$) κατά τον μήνα Ιούλιο. Αντιθέτως τον μήνα Σεπτέμβριο παρατηρείτε μείωση της συσχέτισης ($R=0,35$) διότι η φυτεία έχει ολοκληρώσει τον βιολογικό της κύκλο.

Τέλος, η συσχέτιση της αντίστασης στη διείσδυση στα πρώτα βάθη (5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm και 20-25 cm) σε σχέση με την παραγωγή παρατηρείται ασθενή αρνητική γραμμική σχέση. Αντιθέτως στα επόμενα βάθη (25-30 cm, 30-35 cm και 0-50 cm) παρατηρείτε η συσχέτιση μεταξύ βάθους αντίστασης και παραγωγής να είναι σε μια υψηλή σχετικά αρνητική σχέση. Δηλαδή όσο πιο συμπιεσμένο είναι το έδαφος τόσο πιο μικρή παραγωγή θα έχουμε. Αυτό οφείλεται κυρίως στις συνεχείς και έντονες αρόσεις στο ίδιο βάθος, η απουσία συστήματος αμειψισποράς καθώς επίσης και οι καλλιεργητικές διαδικασίες με βαρέως τύπου μηχανήματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία έγινε μελέτη της παραλλακτικότητας της παραγωγής, του δείκτη βλάστησης NDVI και της αντίστασης της διείσδυσης του εδάφους με σκοπό την μελέτη της εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας. Έγινε αποτύπωση της χωρικής ανομοιομορφίας της συμπίεσης του εδάφους σε έναν αγρό που καλλιεργούνται με βαμβάκι, αποτύπωση της χωρικής ανομοιομορφίας της ευρωστίας των φυτών και αποτύπωση της χωρικής ανομοιομορφίας της παραγωγής με σκοπό την εξέταση της πιθανής συσχέτισης μεταξύ της συμπίεσης του εδάφους και της ευρωστίας των φυτών, την αποτύπωση της πιθανής συσχέτισης μεταξύ συμπίεσης εδάφους με την παράγωγή και τέλος την αποτύπωση της πιθανής συσχέτισης μεταξύ της ευρωστίας των φυτών με την παραγωγή.

Η γεωργία ακριβείας είναι πολύ σημαντικό να αρχίσει να εφαρμόζεται και στη χώρα μας, παρόλο που είναι ακόμα κάτι καινούργιο για τα ελληνικά δεδομένα, ενώ όσοι παραγωγοί γνωρίζουν τι είναι, θεωρούν αδύνατο να εφαρμοστεί στην Ελλάδα.

Τα αποτελέσματα από την μελέτη της παρούσας εργασίας για τους χάρτες συμπίεσης δείχνουν, ότι η συμπίεση αυξάνεται σταδιακά όσο αυξάνεται το βάθος εδάφους, (κυρίως μετά τα 35 εκατοστά) αυτό αποδεικνύει και το διάγραμμα αντίστασης.

Ακόμη είναι φανερό ότι υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στη συμπίεση του εδάφους και της παραγωγής. Αυτό, σε ένα αγρό με μεγάλη ανομοιομορφία στη συμπίεση του εδάφους μπορεί να οδηγήσει και σε μεγάλη ανομοιομορφία στην παραγωγή. Τότε ένα τμήμα του αγρού θα

δίνει παραγωγή πολύ μικρότερη από το μέσο όρο, ενώ σε κάποιο άλλο τμήμα θα είναι πολύ μεγαλύτερη του μέσου όρου της παραγωγής του συγκεκριμένου αγρού.

Η ευρωστία των φυτών φαίνεται πως επηρεάζεται αρνητικά από την συμπίεση του εδάφους, κυρίως κατά τον μήνα Ιούλιο.

Η ευρωστία των φυτών φαίνεται να επηρεάζει την παραγωγή. Εκεί που παρατηρήθηκαν υψηλές τιμές του δείκτη βλάστησης (του Ιουλίου κυρίως) παρατηρήθηκαν και υψηλές αποδόσεις βαμβακιού. Αντίστοιχα στις χαμηλές τιμές του δείκτη βλάστησης παρατηρήθηκαν και χαμηλές αποδόσεις.

Οι ερευνητές που ασχολούνται με τη γεωργία ακριβείας έχουν δώσει κατά καιρούς πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα από τα πειράματα στον ελλαδικό χώρο, για να αποδειχτεί ότι η εφαρμογή της έχει θετικά αποτελέσματα για τους Έλληνες παραγωγούς. Ωστόσο, απαιτείται αρκετός δρόμος ακόμη ώστε η συγκεκριμένη τεχνική να υιοθετηθεί πλήρως από τους παραγωγούς μας. Έτσι και το συγκεκριμένο πείραμα θα πρέπει να συνεχιστεί και τα επόμενα χρόνια για την εξαγωγή επιβεβαιωμένων αποτελεσμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Al-Gaadi K.A. 2013, Assessment of Soil Compaction Under Center Pivot Irrigation Systems And Its Effect On Crop Performance. American Journal of Agricultural and Biological Sciences, Volume 8, Issue 1, Pages 54-66, <http://thescipub.com/pdf/10.3844/ajabssp.2013.54.66>
- Auernhammer H., 2001. Precision farming - the environmental challenge. Comput Electron Agric 30, 31-43
- Beata H. 2012. Soil Compaction, European Commission - Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability, <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/compaction/>
- Bouma και Finke (1993) στο Μαρκινός Α., Γέμτος Θ., Τούλιος Λ., Πατέρας Δ., Ζέρβα Γ.και Παπαοικονόμου Μ.2003. Γεωργία Ακριβείας στο Βαμβάκι: Συσχέτιση Χαρτών Παραγωγής και Ηλ. Αγωγιμότητας, Πρακτικά 3ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Θεσσαλονίκη, 29-31 Μαΐου, Διαθέσιμο στο: http://www.egme.gr/EGME_PRAKTIKA/PDFS/3_conference/3_Proceedings%20EGME%202003_Part%205.pdf
- COM(2006) 232. Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (2001). αειφόρος χρήση του νερού στην Ευρώπη, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0232:FIN:EL:PDF>
- COM(2012) 46:FINAL. Έκθεση της Επιτροπής προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών: Εφαρμογή της θεματικής στρατηγικής για το έδαφος και τρέχουσες δραστηριότητες, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0046:FIN:EL:DOC>.
- Douglas J. T. & Crawford C. E. 1993. The response of a ryegrass sward to wheel traffic and applied nitrogen, Grass and Forage Science, Volume 48, Issue 2, pages 91–100, Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2494.1993.tb01841.x/abstract>
- Earl R., Taylor J.C., Wood G.A., Bradley I., James I.T., Waine T., Welsh J.P., Godwin R.J. & Knight S.M. 2003. Soil Factors and their Influence on Within-field Crop Variability, Part I: Field Observation of Soil Variation, Biosystems Engineering (2003) 84 (4), 425–440, Fountas S., Blackmore S., Gemtos T., Markinos Ath. 2004. Trend yield maps in Greece and the UK. Available at: <http://www.precisionfarming.gr/dhmosieyseis/7.pdf>

- EUROPEAN COMMISSION, Brussels, 13.2.2012, COM(2012) 46 final REPORT FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS, The implementation of the Soil Thematic Strategy and ongoing activities, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0046:FIN:EN:PDF>
- Fountas S., Blackmore S., Gemtos T., Markinos Ath. 2004. Trend yield maps in Greece and the UK. Available at: <http://www.precisionfarming.gr/dhmosieyseis/7.pdf>
- Gameda S., Raghavana G.S.V., McKyesa E., Watsonb A.K., Mehuysc G. 1994. Long-term effects of a single incidence of high axle load compaction on a clay soil in Quebec, Soil and Tillage Research, Volume 29, Issues 2–3, Pages 173–177, Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016719879490054X>
- Gemtos T.A., Markinos Ath., Toullos L., Pateras D., Zerva G. 2003. A Precision Farming Application in the Small Cotton Farms of Greece.
- Gemtos, T., Fountas, S., Blackmore, S. and Griepentrog, H.W. 2002. Precision Farming in Europe and the Greek potential. In: HAICTA 2002, Proceedings of the 1st Greek Conference on Information and Communication Technology in Agriculture, edited by A. Sideridis and C. Yialouris (Agricultural University of Athens, Athens, Greece) p. 45-55.
- Gemtos, T.A., Markinos, A. and Nassiou, T., 2005. Cotton lint quality spatial variability and correlation with soil properties and yield. In: Precision Agriculture '05: Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture, edited by J. V. Stafford (Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands), pp.361-368. Available at: <http://www.precisionfarming.gr/dhmosieyseis/11.pdf>
- Godwin R., Ricards T., Wood G., Welsh J. and Knight S. (2003a). An economic analysis of the potential for precision farming in UK cereal production. Biosystems Engineering (Special Edition on Precision Agriculture), 84, Issue 4, April, p. 533-545, Available at: https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/1826/746/2/TR%2520_was%2520%25203.10%2520Economic%2520analysis%2520of%2520PF_.pdf
- Harris W.L., 1971. The soil compaction process. In Rahman Md Gazi Ferooz, Talukder MDH, Rahman AHMM 2011. Assessment of Soil Compaction – A Project Study, MIST Journal: GALAXY (DHAKA) Available at: <http://www.banglajol.info/index.php/MIST/article/view/8046/6008>

Hofman, A.R., Penigrahi, S., Gregor, B., Walker, J., (1995). In field monitoring sugar beets ASAE paper 95-2114, ASAE, St Joseph, Michigan.

Ioannidis Ch., 2010. Σημειώσεις στο μάθημα Φωτογραμμετρία II, Δορυφορικές Απεικονίσεις, Διαθέσιμο στο: http://ecourses.dbnet.ntua.gr/el/fvtogrammetria_ii/ekpaideytiko_yliko-1.html

Ishaq M. Ibrahim M., Hassan A., Saeed M., Lal R. 2001. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: II. Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. Soil and Tillage Research, Volume 60, Issues 3–4, Pages 153–161, Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198701001775>

Ishaq M., Ibrahim M. And Lal R. 2003. Persistence Of Subsoil Compaction Effects On Soil Properties And Growth Of Wheat And Cotton In Pakistan, Experimental Agriculture / Volume 39 / Issue 04 / October 2003, pp 341-348, <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=179765>

James I. and Godwin R. (2003). Soil, water and yield relationships in developing strategies for the precision application of nitrogen fertilizer to winter barley. Biosystems Engineering, Vol. 84, No. 4, April, p. 467-480, ftp://ftp.ufv.br/dea/Disciplinas/Chico/Andreia/Aritgo_7.pdf

Jenkins, A. R. 2009. "Precision Farming Information Sources Used by Cotton Farmers. " Master's Thesis, University of Tennessee, Available at: http://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1568&context=utk_gradthes

Kriegler, F.J., Malila, W.A., Nalepka, R.F., and Richardson, W. (1969) 'Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition.' Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment, p. 97-131, Διαθέσιμη αναφορά στο: http://en.wikipedia.org/wiki/Normalized_Difference_Vegetation_Index#cite_ref-4

Kromer K. H., Shmittmann O., Osman A. M., (1999). Crop yield monitoring on forage harvesters. ASAE 99-1051, St Joseph, Michigan

Kulkarni, S.S. and S.G. Bajwa, 2005. Spectral response of cotton canopy to soil compaction. ASAE http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm?SEQ_NO_115=195745

Kulkarni, S.S., S.G. Bajwa and G. Huitink, 2010. Investigation of the effects of soil compaction in cotton. Trans.

ASABE, <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=30058&t=2&redir=&redirType=>

- Larson, J.A., R.K. Roberts, B.C. English, S.L. Larkin, M.C. Marra, S.W. Martin, K.W. Paxton, J.W. Reeves. 2008. —Factors Affecting Farmer Adoption of Remotely Sensed Imagery for Precision Management in Cotton Production. *Precision Agriculture* 9:195-208.
- Lee W. S., Schueller J. K., Burks T. F., 2005. Wagon-Based Silage Yield Mapping System, *Agricultural Engineering International: the CIGR EJournal*. Vol. VII. Manuscript IT 05 003, <http://ecommons.cornell.edu/bitstream/1813/10451/1/IT%2005%20003%20Lee-Schueller%20final%20Oct2005.pdf>
- Lesturgez G., Poss R., Hartmann C., Bourdon E., Noble A. & Ratana-Anupap S. 2004. Roots of *Stylosanthes hamata* create macropores in the compact layer of a sandy soil. *Plant and Soil* 260: 101–109, 2004. Available at : http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers13-05/010057837.pdf
- Lesturgez, G. Hartmann C. Tessier D. and Poss R. 2007. Compaction processes in a tilled sandy soil, Session 4 “Physical properties of tropical sandy soils”, Available at: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ag125e/ag125e09.pdf>
- Lund, E.D., Christy, C.D., 1998. Using Electrical Conductivity To Provide Answers For Precision Farming. Proceedings of the 1st International Conference Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Orlando Florida, http://www.veristech.com/pdf_files/PAPR1erimfnl.pdf
- Markinos A., Gemtos Th, Kavaliris C. & Karamoutis C. 2005. Soil Resistance To Ploughing Spatial Variability And Their Effects To Cotton Seed Yield Maps, Available at: <http://www.precisionfarming.gr/dhmosieyseis/14.pdf>
- Markinos A., Toullos L., Pateras D., Zerva G. and Gemtos T., (2003). A precision farming application in the small cotton farmers of Greece, ITAFE Conference, Izmir, Turkey, 7-9 October 2003, Available at: <http://www.precisionfarming.gr/dhmosieyseis/4.pdf>
- Markinos A. , T.A.Gemtos, L. Toullos, D. Pateras, G. Zerva (2002) Yield mapping of cotton crop in Greece Paper presented in the HAICTA Conference, Athens.
- Markinos, A.T., Gemtos, T.A., Toullos, L., Pateras, D., Zerva, G., 2002. Yield Mapping of Cotton crop in Greece. Proceedings of the 1st HAICTA Conference, Athens, 6-7 June 2002: 56-62.

- McKinion J.M., Jenkins J.N., Akins D., Turner S.B., Willers J.L., Jallas E. & Whisler F.D. 2001. Analysis of a precision agriculture approach to cotton production. *Computers and Electronics in Agriculture* 32 (2001) 213–228, Available at: <http://naldc.nal.usda.gov/download/30337/PDF>
- Mooney Daniel F., Roberts Roland K., English Burton C., Lambert Dayton M., Larson James A., Velandia Margarita, Larkin Sherry L., Marra Michele C., Martin Steven W., Mishra Ashok, Paxton Kenneth W., Rejesus Roderick, Segarra Eduardo, Wang Chenggang, and Reeves Jeanne M. 2010. Precision Farming by Cotton Producers in Twelve Southern States: Results from the 2009 Southern Cotton Precision Farming Survey, Department of Agricultural and Resource Economics, The University of Tennessee Knoxville, Tennessee Available at: <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/91333/2/2009%20Cotton%20Precision%20Farming%20Research%20Report.pdf>
- Morgan, T.M. (1995), “Sensors vs. map-based precision farming”, Purdue Agricultural and Biological Engineering Dept, Available at: <http://www.agriculture.purdue.edu/ssmc/Frames/sensors.html>
- Onken A. and Suderman H. (1972). Applied and residual nitrate-nitrogen effects on irrigated grain sorgun yield. *Soil Science Society of America Proccedings*, 36, p. 94-97, Available at: <https://www.crops.org/publications/sssaj/abstracts/36/1/SS0360010094?access=0&view=pdf>
- Pelletiera G. & Upadhyayab S.K. (1999). Development of a tomato load/yield monitor. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 23, Issue 2, August, Pages 103–117, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169999000253>
- Plant, R.E., D.S Munk, B.R. Roberts, R.L. Vargas, D.W. Rains, R.L. Travis and R.B. Hutmacher. 2000. Relationships between remotely sensed reflectance data and cotton growth and yield. *Transactions of ASAE* 43(3):535-546, <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=1414567>
- Porter, W.M., A. Khalilian, W. Henderson, Y. Han. 2010. Sensor-based site-specific nitrogen management in cotton. http://etd.lib.clemson.edu/documents/1285785951/Porter_clemson_0050M_10821.pdf
- Raper, R.L., Kirby, Mac J. 2006. Soil compaction: How to do it, undo it or avoid doing it. *Agricultural Equipment Technology Conference*, Louisville, Kentucky, USA, 12-14 Feb2006, Published by ASABE, Available at: <http://elibrary.asabe.org/data/pdf/6/sc2006/LectureSeries2006.pdf>

- Reddy, K.R., D. Zhao, V.G. Kakani, J.J. Read, and K. Sailaja. 2003. Estimating cotton growth and developmental parameters through remote sensing. *Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering* 5153:277-288
<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=768261>
- Reeves D.W., Edwards J.H., Elkins C.B., Touchton J.T. 1990. In-row tillage methods for subsoil amendment and starter fertilizer application to conservation-tilled grain sorghum, *Soil & Tillage Research* 1990 Vol. 16 No. 4 pp. 359-369, Available at:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016719879090071K>
- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering (1973) 'Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS', Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317, Διαθέσιμη αναφορά στο:
http://en.wikipedia.org/wiki/Normalized_Difference_Vegetation_Index#cite_ref-4
- STOA 2013, Τεχνολογικές επιλογές για τον επισιτισμό 10 δισεκατομμυρίων ανθρώπων Βελτίωση φυτών και καινοτόμος γεωργία. Science and Technology Options Assessment. IP/A/STOA/FWC/2008-096/Lot7/C1/SC1 - SC3.
[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2013/513521/IPOL-JOIN_ET\(2013\)513521_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2013/513521/IPOL-JOIN_ET(2013)513521_EN.pdf)
- Scholefield, D. And Hall, D.M. (1985) Constricted growth of grass roots through rigid pores. *Plant and Soil*, 85, 153-162.
http://link.springer.com/article/10.1007%2F978-94-009-1396-2_1
- Vidrih T. and Hopkins A. 1996. The effect of soil environment on white clover persistence and productivity under grazing. Interregional Cooperative Research and Development Network on Pastures and Fodder Crops (FAO/CIHEAM).
[http://www.fao.org/docrep/v9968e/v9968e02.htm#the effect of soil environment on white clover persistence and productivity unde](http://www.fao.org/docrep/v9968e/v9968e02.htm#the%20effect%20of%20soil%20environment%20on%20white%20clover%20persistence%20and%20productivity%20under%20grazing)
- TARDIEU, F. (1994) Growth and functioning of roots and of root systems subjected to soil compaction. Towards a system with multiple signalling? *Soil and Tillage Research*, 30, 217-243
- Iijima M, Kono Y 1991 Interspecific differences of the root system structures of four cereal species as affected by soil compaction. *Jpn. J. Crop Sci.* 60:130-138.
- Iijima M, Kono Y, Yamauchi A, Pardales Jr JR 1991 Effects of soil compaction on the development of rice and maize root system. *Environ. Exp. Bot.* 30: 333-342
- Fageria NK, Baligar VC, Clark RB 2006 Physiology of crop production. The Haworth Press Inc., New York, London, Oxford, pp.23-60.

- Grzesiak S, Grzesiak MT, Filek W, Hura T, Stabryła J 2002 The impact of different soil moisture and soil compaction on the growth of triticale root system. *Acta Physiol. Plant.* 24: 331-342.
- Stafford, J.V., 2000. Implementing precision agriculture in the 21st century. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76: 267-275, <http://www.rmoraes.utad.pt/RMPDFFiles/PDFPapers/STAFFORD00.pdf>
- Teal R.K., Tubana B., Girma K., Freeman K., Walsh Brian Arnall, O. and Raun W.R. 2006. In-season prediction of corn grain yield potential using NDVI at various vegetative growth stages, Available at: http://nue.okstate.edu/Index_Publications/roger_sp.pdf
- Tomasson J.A., Penington, D.A., Pringle, H.C., Columbus, E.P., Tomson, S.J., Byler, R.K., (1999). Cotton mass flow measurements: Experiments with two optical devices. *Appl. Eng in Agric.* 15(1), 11-17.
- Toulios L., PaterasD., Zerva G., Gemtos T.A. and Markinos Th. 2005. Combining satellite images and cotton yield maps to evaluate field variability in precision farming
- University of Minnesota 2001. Soil Compaction: Causes, Effects, and Control, <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/components/3115s01.html>
- Vardoulis G., Markinos A., Aggelopoulou K., Fountas S., Gertsis. A., Gemtos A. T. 2005. Crop variability in cotton fields. Available at: <http://www.precisionfarming.gr/dhmosieyseis/17.pdf>
- Velandia M., Rejesus, R. M., Knight, T. O., & Sherrick, B. J. (2009). Factors affecting farmers' utilization of agricultural risk management tools: The case of crop insurance, forward contracting, and spreading sales. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 41, 107-123, Available at: <http://agriskmanagementforum.org/sites/agriskmanagementforum.org/files/Documents/factors%20affecting%20farmers%20utilization%20of%20ag%20risk%20man%20tools.pdf>
- Velandia, M., D. M. Lambert, A. Jenkins, R. K. Roberts, J. A. Larson, B. C. English, and S. W. Martin. 2010. Precision Farming Information Sources Used by Cotton Farmers and Implications for Extension. *Journal of extension* 48(5): 1-7, Available at: http://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1568&context=utk_gradthes

- Vellidis G., Ortiz B., Ritchie G., Peristeropoulos A., Perry C., and Rucker K. 2009. Using GreenSeeker® to drive variable rate application of plant growth regulators and defoliants on cotton, <http://www.nespal.org/documents/Vellidis.7ECPA.Paper2528.pdf>
- Vellidis G., Perry C. D., Durrence, J. S., Thomas D. L., Hill D. L., Kwien R. W., Rains G., (2001). Field testing the peanut yield monitoring. In: Robert P. C., Rust R. H., Larson W. E., (Eds). Proceedings on the Third International Conference on Precision Agriculture, Mineapolis, USA, pp. 835-844.
- Vellidis G., Perry D., Thomas D. L., Wells N., Kwien C. K., (2003). Simultaneous assessment of cotton yield monitors. Applied Engineering in Agrivulture 19 (3), pp. 259-272.
- Vellidis G., Tucker M. A., Perry C. D., Thomas D. L., Wells N., Kvien C. K. 2004. Predicting Cotton Lint Yield Maps from Aerial Photographs. Precision Agriculture, December 2004, Volume 5, Issue 6, pp 547-564
- Vellidis, G., H. Savelle, R. G. Ritchie, G. Harris, R. Hill, and H. Henry. 2011. NDVI response of cotton to nitrogen application rates in Georgia, USA. Available at: <http://vellidis.org/wp-content/uploads/2013/05/Vellidis-8ECPA-Cotton-VRA.pdf>
- Weiss M. (1996). Precision farming and spatial economic analysis: Research challenges and opportunities. American Journal of Agricultural Economics, 78, pp. 1275-1280. Available at: <http://www.jstor.org/discover/10.2307/1243506?uid=3738128&uid=2129&uid=2&uid=70&uid=4&sid=21102452679311>
- Wood, G. A, Thomas G and Taylor J.C. 1998, Developing calibration techniques to map crop variation and yield potential using remote sensing.
- Zarco-Tejada, P.J., S.L. Ustin, and M.L. Whiting. 2005. Temporal and spatial relationships between within-field variability in cotton and high-spatial hyperspectral remote sensing imagery. Agronomy Journal 97:641-653. <https://www.agronomy.org/publications/aj/abstracts/97/3/0641>
- Zhang, N., M. Wang, and N. Wang. 2002. Precision Agriculture - Worldwide Overview. Computers & Electronics in Agriculture 36(2/3): 113.
- Αγοράκη Φ., 2004. "Εκτίμηση του κινδύνου διάβρωσης της νήσου Λέσβου με τη χρήση των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών και τηλεσκοπησης.", MSc Thesis, Environmental Science Department University of the Aegean, <http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=9345>
- Γαλανοπούλου-Σενδούκα Σ. , 2002, Βιομηχανικά Φυτά - Βαμβάκι και υπόλοιπα κλωστικά Ελαιοδοτικά - Ζαχαρότευτλα – Καπνός, Εδόσεις Σταμούλη, Αθήνα.

Γέμτος, Θ., Φουντάς Σ., Μαρκινός Α., Αγγελοπούλου, Α., Χατζηνίκος Α. 2006. Εφαρμογές Και Προοπτική Γεωργίας Ακρίβειας Στην Ελλάδα, <http://www.precisionfarming.gr/dhmosieyseis/16.pdf>

Γέμτος, Θ.Α., Φουντάς, Σ., Μαρκινός, Α. και S. Blackmore. 2003. Γεωργία ακριβείας: Προοπτικές εφαρμογής στην Ελλάδα και στην Νότια Ευρώπη. Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής. Μάιος, 29-31, 2003. σσ. 230-237.

Γκόσιου Αλεξάνδρα 2010. Ανάπτυξη ενός ψηφιακού συστήματος άμεσης προστασίας καμένων δασικών εκτάσεων, Ψ.Σ.Α.Π., Διαθέσιμο στο: http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3771/3/gkosioua_forest.pdf

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γέμτος, Θ., Φουντάς Σ., Μαρκινός Α., Αγγελοπούλου, Α., Χατζηνίκος Α. 2006. Εφαρμογές και προοπτική γεωργίας ακριβείας στην Ελλάδα. Τόμος Επιστημονικών Εργασιών της Ελληνικής Εταιρείας Πληροφορικής και Επικοινωνιών στη Γεωργία με τίτλο: «Καινοτόμες εφαρμογές της πληροφορικής στον Αγροτικό Τομέα και στο Περιβάλλον». Θεσσαλονίκη, σελ. 41-52

Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (2001). Αειφόρος χρήση του νερού στην Ευρώπη, COM(2006) 232. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2006:0232:FIN:EL:PDF>

Ζαλίδης Γ., 1999. Σημειώσεις Μαθήματος: Υποβάθμιση Εδαφών, Κεφάλαιο 3ον, Διαθέσιμο στο: http://labrsgis.web.auth.gr/images/sampled_data/parks/stories/K3-Degradation.doc

Καβαλάρης Χ., Καραμούτης Χ., Αναγνωστόπουλος Δ., Φουντάς Σ. και Γέμτος Θ.Α. 2013. Συστηματική Διερεύνηση της Χρονικής Διακύμανσης της Αντίστασης του Εδάφους στη Διείσδυση σε ένα Μακροχρόνιο Πείραμα Κατεργασιών, ΠΡΑΚΤΙΚΑ 8ου ΕΘΝΙΚΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ (ΕΓΜΕ), Διαθέσιμο στο: http://www.egme.gr/EGME_PRAKTIKA/PDFS/8_conference/8_Proceedings_EGME_2013.pdf

Καλύβας Γ., Γασπαράτος Δ., Γκαλογιάννης Κ., Χαϊντούτη Κ. και Μάργαρης Ν. 2010. Χρονική Μεταβολή της Διαθεσιμότητας των Ιχνοστοιχείων στο Τελικό Εδαφικό Κάλυμμα του Χώρου Διάθεσης Απορριμμάτων των Άνω Λιοσίων, Πρακτικά 13ου Πανελληνίου Εδαφολογικού Συνεδρίου, Διαθέσιμο στο: http://www.edafologiki.gr/wp-content/uploads/2010/13_SSC_PROC_LARISSA.pdf

Καρυδάς, Χ. Γ και Συλλαίος, Ν. Γ, 2000, 'Γεωργία Ακρίβειας: Περιγραφή της μεθόδου - Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές', 2ο Ειδικό Συνέδριο

Πληροφοριακών Συστημάτων στη Γεωργία, Χανιά, Οκτώβριος 2000, Διαθέσιμο στο: http://users.auth.gr/~xkarydas/PUBLICATIONS/xkarydas_2ConfEEEE.pdf

Λέλλης Θ., Λουλούδη Α. & Λουλούδη Β., 2000. Επίδραση του βαθμού συμποίησης του εδάφους της αρχικής υγρασίας και της θερμοκρασίας στη βλάστηση και την αρχική ανάπτυξη του βαμβακιού, ΠΡΑΚΤΙΚΑ 2ου ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, Διαθέσιμο στο: http://www.egme.gr/EGME_PRAKTIKA/PDFS/2_conference/2_Proceedings%20EGME%202000_Part%206.pdf

Λιονάκης Σ., 2008. Παραδοτέο Δράσης Γ.ΙΙ. (1) του Προγράμματος Καν. (ΕΚ) 2080/2005 “ Βελτίωση Ποικιλιών Ελαιοδένδρων”, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Διαθέσιμο στο: http://www.easreth.gr/MIC/6veltiosi_2008.pdf

Μαρκινός Α., Γέμτος Θ., Τούλιος Λ., Πατέρας Δ., Ζέρβα Γ. και Παπαοικονόμου Μ. 2003. Γεωργία Ακρίβειας στο Βαμβάκι: Συσχέτιση Χαρτών Παραγωγής και Ηλ. Αγωγιμότητας.

Μπαχλάβας Αντώνης. (2011). Δημιουργία χάρτη επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών με χρήση αντικειμενοστραφούς ανάλυσης τηλεπισκοπικών και χαρτογραφικών δεδομένων σε επίπεδο χώρας. Διπλωματική εργασία. Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π., Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης. Επιβλέπων Καθηγητής Δ. Αργιαλάς, Αθήνα.

Μπιλάλη Δ., Σιδηράς Ν. & Ευθυνημιάδης Π. 2000. Επίδραση Τριών συστημάτων εδαφοκατεργασίας σε εδαφικά και φυσικά χαρακτηριστικά σε καλλιέργεια βαμβακιού, Πρακτικά 2ου ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ, Διαθέσιμο στο: http://www.egme.gr/EGME_PRAKTIKA/PDFS/2_conference/2_Proceedings%20EGME%202000_Part%206.pdf

Μυγδάκος Ε., Γέμτος Θ. & Μαρκινός Α. 2004. Εφαρμογή της Γεωργίας Ακρίβειας στην καλλιέργεια βαμβακιού στην Ελλάδα: Κόστος εφαρμογής και οικονομικά αποτελέσματα. ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΕΤΑΓΡΟ., Διαθέσιμο στο: <http://www.precisionfarming.gr/dhmosieyseys/9.pdf>

Παπακώστα-Τασοπούλου Δ., 2002, Βιομηχανικά Φυτά, (Ζαχαρότευτλα-Καπνός-Βαμβάκι), Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία, Θεσσαλονίκη.

Παπασταύρου Α., 2013. Συμπύεση εδάφους: ένας ύπουλος εχθρός! Διαθέσιμο στο: <http://www.agronomist.gr>

Φτάκα Χ. Α. 2006. Διατριβή με τίτλο: Η γεωργία ακριβείας ως εργαλείο της γεωργικής πρακτικής για την αειφόρο ανάπτυξη.
<http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=10021>

Χαλβατζής Χ. & Καλαβρουζιώτης Ι.Κ. 2009. Κατανομή Τάσεων στο Εδαφικό Προφίλ από Επιφανειακό Φορτίο, Πρακτικά 6ου ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ: Η Γεωργική Μηχανική και η Μηχανική Βιοσυστημάτων στην εποχή των βιοκαυσίμων και των κλιματικών αλλαγών, σελ. 71-78, Διαθέσιμο στο:
http://www.egme.gr/EGME_PRAKTIKA/PDFS/6_conference/6_Proceedings%20EGME%202009_Part%202.pdf